



**TUGAS AKHIR – TM141585**

**STUDI EKSPERIMENTAL LAJU KEAUSAN  
MATERIAL GIGI TIRUAN DARI RESIN AKRILIK  
BERPENGUAT *FIBER GLASS* DENGAN VARIASI  
SUSUNAN SERAT PENGUAT**

**PRASTIKA KRISTASARI  
NRP. 2111 100 132**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. E.  
NIP. 196511031996021001**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**UNDERGRADUATE THESIS – TM141585**

**EXPERIMENTAL STUDY OF WEAR RATE  
ARTIFICIAL TEETH MATERIAL FROM FIBER  
GLASS BASE ACRYLIC RESIN REINFORCED  
PATTERN VARIETY**

**PRASTIKA KRISTASARI  
NRP. 2111 100 132**

**Lecturer  
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. E.  
NIP. 196511031996021001**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMENTAL LAJU KEAUSAN MATERIAL GIGI  
TIRUAN DARI RESIN AKRILIK BERPENGUAT *FIBERGLASS*  
DENGAN VARIASI SUSUNAN SERAT PENGUAT**





**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Desain  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PRASTIKA KRISTASARI**

NRP. 2111 100 132

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :		
1.	<u>Ir. Yusuf Kaelani M.Sc. E.</u> NIP. 196511031990021001	 (Pembimbing)
2.	<u>Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc. Ph.D.</u> NIP. 195106051978031002	 (Penguji I)
3.	<u>Alief Wikarta, S.T., M.Sc. Eng. Ph.D.</u> NIP. 198202102006041002	 (Penguji II)
4.	<u>Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.</u> NIP. 197004121997032003	 (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI, 2016**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI EKSPERIMENTAL LAJU KEAUSAN  
MATERIAL GIGI TIRUAN DARI RESIN AKRILIK  
BERPENGUAT *FIBERGLASS* DENGAN VARIASI  
SUSUNAN SERAT PENGUAT**

**Nama Mahasiswa : Prastika Kristasari**  
**NRP : 2111 100 132**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. E.**

**ABSTRAK**

Resin akrilik adalah salah satu material *fiber reinforced composite* yang mulai banyak digunakan dalam bidang industri saat ini. Material ini digunakan sebagai salah satu material untuk pembuatan gigi tiruan. Penelitian sebelumnya tentang analisis pengujian laju keausan resin akrilik berpenguat serat pada *dental prosthesis* pada kondisi *dry sliding* menunjukkan hasil nilai laju keausan berkurang dengan adanya penambahan serat. Namun, saat ini belum ada kajian mengenai laju keausan resin akrilik berpenguat serat pada kondisi *wet sliding* dengan variasi pola susunan serat yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keausan yang terjadi pada material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat serat dengan kondisi terendam cairan saliva buatan.

Analisis tribologi dilakukan untuk menganalisis aspek-aspek dari segi gesekan dan karakteristik keausan antara kontak dua permukaan. Metode yang dilakukan adalah pengujian eksperimen dengan menggunakan alat uji keausan tribometer tipe *pin on disk*. Material untuk pin dan disk menggunakan material dari resin akrilik. Disk diputar dan bergesekan dengan pin yang telah diberi beban tertentu. Variabel tetap pengujian ini yaitu panjang lintasan sejauh 505,92 m, beban sebesar 2 kg, dan

*sliding speed* sebesar 0,07 m/s. Perlakuan gesekan dilakukan pada resin akrilik berpenguat serat dengan variasi susunan serat 0%, 7% berpola 6 mm serat acak, dan 7% berpola 6 mm serat teratur. Material tersebut direndam dahulu dan pada saat pengujian keausan dikondisikan terendam dalam cairan saliva buatan. Kemudian, spesimen uji tersebut dianalisis laju keausannya dan diamati gambar mikro dari permukaan spesimen tersebut.

Hasil dari penelitian tentang laju keausan spesifik material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat berupa resin akrilik dengan 0% serat, 7% serat teratur, dan 7% serat acak adalah data pengujian berupa nilai laju keausan spesifik sebesar  $0.0126 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  yang terdapat pada material resin akrilik tanpa penguat serat yang memiliki nilai *specific wear rate* terbesar. Sedangkan nilai laju keausan yang terkecil yaitu pada material resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur dengan nilai *specific wear rate* sebesar  $0.0006 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Hasil foto mikro dengan perbesaran 100 kali menunjukkan bahwa mekanisme keausan yang paling dominan terjadi adalah keausan abrasif dan keausan *fatigue*.

**Kata kunci : *fiberglass*, *wear rate*, resin akrilik, gigi tiruan.**

# **EXPERIMENTAL STUDY OF WEAR RATE ARTIFICIAL TEETH MATERIAL FROM FIBER GLASS BASE ACRYLIC RESIN REINFORCED PATTERN VARIETY**

**Name of Student : Prastika Kristasari**  
**NRP : 2111 100 132**  
**Departement : Mechanical Engineering FTI-ITS**  
**Lecturer : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. E.**

## **ABSTRACT**

Acrylic resin is one of the fiber reinforced composite material that is widely used in industry today. This material is used as a material for the manufacture of dentures. Previous research on the wear rate test analysis acrylic resin with reinforcement fibers on the dental prosthesis in dry conditions sliding shows the results of the wear rate is reduced with the addition of fiber. However, there is currently no study on the wear rate acrylic resin with reinforcement fibers in condition of wet sliding with a variation of the configuration of different fibers. This study aims to determine the wear that occurs in denture material of acrylic resin with reinforcement fibers with artificial saliva liquid on a submerged conditions.

Tribology analysis was conducted to analyze the aspects in terms of friction and wear characteristics between the two contact surfaces. The method used is an experimental test using the test tool wear Tribometer type of pin on disk. Material for the pin and disk using a material of acrylic resin with reinforcement fibers. Disk rotated and rub with a pin that has been given a certain load. These tests remain variable path length as far as 505.92 m, a load of 2 kg, and the sliding speed of 0.07 m/s. Friction treatment performed on acrylic resin with reinforcement fibers with fiber composition variation of 0%, 7% 6 mm fiber

patterned random, and 7% 6 mm fiber patterned regularly. The material is soaked in advance and at the time of testing the wear conditioned submerged in the liquid artificial saliva. Then, the test specimens are analyzed and observed pattern wear with micro image of the specimen surface.

Results of research on the wear rate of the specific material dentures from acrylic resin with reinforcement fiberglass with a variation of the arrangement of reinforcing fibers such as acrylic resin with 0% fiber, 7% fiber regularly, and 7% of the fibers randomly is the test data in the form of the value of wear rate of the specific of  $0.0126 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  contained in acrylic resin material without reinforcement fibers that have the greatest value of specific wear rate. While the value of wear rate of the smallest of the acrylic resin material reinforced 7% fiber patterned regularly with the value of specific wear rate of  $0.0006 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . The results of micro photograph with a magnification of 100 times showing that the dominant mechanism of wear that occur are abrasive wear and fatigue wear.

**Keywords: fiberglass, wear rate, acrylic resin, denture.**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	i
<b>ABSTRAK</b>	ii
<b>ABSTRACT</b>	ii
<b>KATA PENGANTAR</b>	ii
<b>DAFTAR ISI</b>	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	vi
<b>DAFTAR TABEL</b>	viii
<b>DAFTAR GRAFIK</b>	ix

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4

### BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.1.1 Penelitian Intan Nirwana (2005)	7
2.1.2 Penelitian Dwi Tarina W. (2012)	8
2.2 Persyaratan Material Gigi Tiruan	12
2.3 Karakteristik <i>Fiber Reinforced Composite</i>	14
2.4 Menghitung Laju Keausan	16
2.5 Saliva	17
2.6 Keausan ( <i>Wear</i> )	18
2.6.1 Pengertian Keausan	18
2.6.2 Mekanisme Keausan	20
2.7 Gerakan antar Pemukaan Gigi	23
2.8 Meterial Gigi Tiruan yang Tahan Aus	27

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Pengambilan Data .....	29
3.2 Penentuan Variabel Uji dan Input Pengujian .....	30
3.3 Perhitungan untuk Massa Jenis Komposit .....	31
3.4 Persiapan Spesimen .....	32
3.5 Persiapan Tribometer .....	35
3.6 Langkah Kerja Penelitian .....	37
3.7 Rancangan Eksperimen .....	41

### **BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Pengujian .....	43
4.2 Perhitungan .....	44
4.2.1 Perhitungan Densitas Spesimen Uji .....	44
4.2.2 Perhitungan <i>Specific Wear Rate</i> .....	46
4.3 Analisa Hasil Data Pengujian Keausan .....	47
4.3.1 Analisa Nilai Volume Keausan .....	47
4.3.2 Analisa Nilai <i>Specific Wear Rate</i> .....	49
4.4 Analisa Mekanisme Hasil Pengujian Keausan .....	51

### **BAB 5 PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58

### **DAFTAR PUSTAKA .....**

61

### **LAMPIRAN .....**

63

Lampiran 1 .....	64
------------------	----

Lampiran 2 .....	65
------------------	----

### **BIOGRAFI PENULIS .....**

71

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Nilai Hasil Uji Kekuatan Transversa Resin Akrilik <i>Hybrid</i> setelah Penambahan <i>Glassfiber</i> dengan Metode Berbeda dalam satuan MPa .....	7
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat Mekanik Gigi dan Material Gigi Tiruan .....	14
<b>Tabel 2.3</b>	Komposisi Saliva Buatan .....	17
<b>Tabel 2.4</b>	<i>Interoral Chewing Parameters</i> .....	26
<b>Tabel 3.1</b>	Rancangan Data Hasil Uji Eksperimen Keausan resin Akrilik untuk Pengujian Keausan .....	41
<b>Tabel 3.2</b>	Nilai Laju Keausan Material Pin Spesimen Resin Akrilik .....	42
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian .....	43
<b>Tabel 4.2</b>	Data Densitas Spesimen Uji .....	45
<b>Tabel 4.3</b>	Perhitungan Nilai <i>Specific Wear Rate</i> Spesimen Uji Pin .....	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Foto Mikro Spesimen 0% serat.....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Foto Mikro Spesimen 1% serat.....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Foto Mikro Spesimen 2% serat.....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Foto Mikro Spesimen 3% serat.....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Foto Mikro Spesimen 5% serat.....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Foto Mikro Spesimen 7% serat.....	12
<b>Gambar 2.7</b>	Tiga Macam Tipe Kurva Keausan.....	18
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Specific wear rate</i> pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan.....	19
<b>Gambar 2.9</b>	Mekanisme keausan yang timbul Karena efek kontak permukaan.....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Pengamatan <i>micrograph</i> keausan adhesif.....	21
<b>Gambar 2.11</b>	Mekanisme keausan adesif.....	21
<b>Gambar 2.12</b>	Pengamatan <i>micrograph</i> keausan abrasif.....	21
<b>Gambar 2.13</b>	Mekanisme keausan abrasif.....	22
<b>Gambar 2.14</b>	Keausan lelah pada <i>ball bearing</i> .....	22
<b>Gambar 2.15</b>	Mekanisme keausan lelah.....	22
<b>Gambar 2.16</b>	Keausan korosif pada baja.....	23
<b>Gambar 2.17</b>	Mekanisme keausan korosif.....	23
<b>Gambar 2.18</b>	Skema gerakan gigi (a) sebelum pengunyahan, dan (b) setelah pengunyahan.....	25
<b>Gambar 2.19</b>	Skema gaya gesek pada alat uji.....	25
<b>Gambar 2.20</b>	Skema <i>sliding contact</i> .....	25
<b>Gambar 2.21</b>	Area gigi yang mengalami <i>sliding</i> <i>contact</i> .....	25
<b>Gambar 2.22</b>	Gaya-gaya yang diterima gigi saat beroperasi.....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Desain <i>Pin</i> .....	33

<b>Gambar 3.2</b>	Potongan serat dengan ukuran sepanjang 6 mm.....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Susunan Serat untuk Pin dari Resin Akrilik Berpola Teratur (kiri) dan acak (kanan).....	33
<b>Gambar 3.4</b>	Desain <i>Disk</i> .....	34
<b>Gambar 3.5</b>	Susunan Serat untuk Disk dari Resin Akrilik Berpola acak.....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Visualisasi 3D Tribometer <i>Pin on Disk</i> .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	Bagian-Bagian dari Alat Tribometer <i>Pin on Disk</i> .....	35
<b>Gambar 3.8</b>	Pengujian Keausan.....	36
<b>Gambar 3.9</b>	Kalibrasi Massa.....	38
<b>Gambar 3.10</b>	Kalibrasi Kecepatan Putaran.....	38
<b>Gambar 3.11</b>	Proses perendaman pin dalam saliva buatan.....	39
<b>Gambar 3.12</b>	Pin spesimen yang digesek saat pengujian keausan.....	40
<b>Gambar 4.1</b>	Foto Mikro Pin Resin Akrilik Berpenguat 0% serat.....	52
<b>Gambar 4.2</b>	Foto Mikro Pin Resin Akrilik Berpenguat 7% serat berpola teratur.....	54
<b>Gambar 4.3</b>	Foto Mikro Pin Resin Akrilik Berpenguat 7% serat berpola acak.....	54

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 2.1</b>	Nilai <i>Specific Wear Rate</i> pada Pembebanan 2 kg dan kecepatan 0,07 m/s.....	9
<b>Grafik 2.2</b>	Volume Aus pada Uji Keausan Resin Akrilik Berpenguat Serat.....	9
<b>Grafik 4.1</b>	Nilai Volume Keausan.....	47
<b>Grafik 4.2</b>	Nilai <i>Specific Wear Rate</i> pada Spesimen Uji Pin .....	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## **LAMPIRAN**

**Lampiran 1.** Tabel Data Perhitungan

**Lampiran 2.** Foto Mikro Perbesaran 100 kali

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB I

## PENDAHULUAN

---

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu-ilmu baru dan perpaduan ilmu pengetahuan menimbulkan perpaduan antara ilmu teknik, biologi, dan kedokteran yang disebut *biomedical engineering*. Material yang digunakan sebagai material *biomedical* disebut *biomaterial*. *Biomaterial* harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang memadai untuk berfungsi sebagai pengganti jaringan tubuh. Material resin akrilik ini sebagai salah satu material yang saat ini mulai dikembangkan sebagai bahan pembuatan gigi tiruan. Material resin akrilik yang digunakan yaitu resin akrilik yang diperkuat serat karena nilai kekuatan dan kekakuan spesifiknya jauh lebih baik dan dapat didesain sesuai dengan kebutuhan manusia.

Dalam penggunaan sehari-hari, bahan restorasi gigi tiruan ini diharapkan dapat bertahan dengan baik di dalam mulut. Namun, adanya saliva di dalam mulut akan menyebabkan degradasi karena adanya peregangan dari penyerapan cairan saliva di dalam mulut serta pada proses pengunyahan makanan menyebabkan material tersebut akan saling mengalami kontak sehingga terjadi gesekan satu sama lain. Hal ini mengakibatkan pengikisan yang terjadi pada permukaan komponen yang saling kontak satu sama lain yang dikenal dengan keausan (*wear*). Material yang digunakan sebagai bahan restorasi gigi tiruan ini haruslah memiliki ketahanan aus (*wear resistant*) yang baik. Ketahanan aus merupakan perpaduan dari fungsi sifat-sifat material yaitu kekerasan dan kekuatan terhadap pelumasan dan friksi yaitu gaya yang menahan gerakan *sliding* atau *rolling* antar benda.

Keausan merupakan hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik. Keausan umumnya timbul sebagai akibat interaksi mekanik antara dua permukaan yang bergerak *sliding* dan diberikan beban tertentu.

Faktor yang mempengaruhi keausan antara lain kecepatan gerak, tekanan, besarnya pembebanan, kekasaran permukaan, kekerasan bahan, dan kekuatan bahan. Benda yang bergesekan akan menimbulkan kenaikan temperatur yang mengakibatkan nilai kekerasan material menurun sehingga material semakin cepat aus. Demikian pula, kecepatan gesekan, tekanan permukaan yang bergesekan, dan pembebanan kerja yang semakin meningkat menyebabkan tingkat keausan semakin meningkat pula. Apabila keausan ini terus terjadi akan menyebabkan kerusakan material. Untuk mengurangi terjadinya keausan biasanya pada permukaan material diberikan pelumas sehingga umur komponen peralatan dapat lebih lama[2].

Material resin akrilik sampai saat ini masih merupakan pilihan untuk pembuatan gigi tiruan karena tidak mengandung bahan berbahaya, memiliki tingkat warna yang dapat disesuaikan dengan warna gigi asli, harganya relatif murah, mudah direparasi, proses pembuatannya mudah, dan dapat dibuat dengan peralatan sederhana. Dwi Tarina Widianingrum (2012), meneliti mengenai pengaruh penambahan serat pada material resin akrilik untuk material *dental prosthesis* dalam kondisi *dry sliding*. Dengan penambahan serat ternyata mampu mengurangi nilai *specific wear rate* resin akrilik pada material *dental prosthesis*. Pada hasil penelitian tersebut, variasi penambahan serat 7% *fiberglass* diperoleh nilai laju keausan yang paling rendah. Sampai saat ini belum ada penelitian yang membahas pengaruh susunan serat penguat pada komponen gigi tiruan dari material resin akrilik terhadap nilai laju keausannya dalam kondisi terendam saliva buatan (kondisi *wet sliding*). Saliva buatan ini memiliki karakteristik yang sama dengan saliva manusia. Adanya variasi susunan serat sebagai penguat pada material gigi tiruan yang terbuat dari resin akrilik yang dikondisikan direndam saliva buatan ini, belum dikaji apakah berpengaruh pada nilai laju keausan. Dalam tugas akhir ini, penelitian yang dilakukan akan menganalisis dan mengkaji kembali laju keausan material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat 7% *fiberglass* dengan variasi

susunan serat penguat yang berpola 6 mm serat teratur, 6 mm serat acak, dan resin akrilik berpenguat 0% *fiberglass* sebagai spesimen kontrol. Dari hasil penelitian akan didapatkan hasil berupa perbandingan laju keausan material resin akrilik berpenguat *fiberglass* berdasarkan susunan serat penguat pada pengujian keausan yang terendam cairan saliva buatan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perumusan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana nilai laju keausan spesifik dan mekanisme terjadinya keausan pada material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat 7% *fiberglass* yang berpola 6 mm serat teratur, 7% *fiberglass* 6 mm serat acak, dan 0% *fiberglass* sebagai spesimen kontrol dalam kondisi terendam saliva buatan.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui nilai laju keausan spesifik dan mekanisme terjadinya keausan pada material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat yang berpola 7% *fiberglass* 6 mm serat teratur, 7% *fiberglass* 6 mm serat acak, dan resin akrilik berpenguat 0% *fiberglass* sebagai spesimen kontrol dalam kondisi terendam saliva buatan.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan material gigi palsu dari resin akrilik berpenguat serat yang memiliki ketahanan aus yang baik ketika digunakan sehari-hari di dalam mulut yang terdapat saliva serta material tersebut dapat bertahan untuk jangka waktu yang lama.

### 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini, digunakan batasan-batasan permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Putaran AC *motor, load*, dan *sliding speed* dianggap uniform
2. Material untuk pin dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dan material untuk disk dari resin akrilik tanpa penguat serat dimana kondisi serat dianggap homogen
3. Cairan untuk perendaman adalah saliva buatan
4. Tidak ada material debris yang menambah keausan
5. Gesekan terjadi hanya antara kedua material yang saling berkontak
6. Kenaikan temperatur hanya disebabkan karena gesekan pada pin dan disk
7. Kondisi gesekan yang diamati pada alat *tribometer pin on disk* yaitu hanya satu arah gesekan saja
8. Kondisi pengujian semua material pada suhu ruangan

### 1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini disusun secara sistematis sesuai dengan pembagian beberapa bab yang ada di dalamnya. Adapun sistematika laporan ini adalah sebagai berikut:

- a. Bab 1 Pendahuluan  
Dalam bab ini berisikan penjelasan mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, batasan permasalahan yang akan digunakan dalam penelitian, dan sistematika dari penulisan laporan.
- b. Bab 2 Kajian Pustaka dan Teori Dasar  
Dalam bab ini berisikan penjelasan teori-teori dan fakta-fakta yang digunakan sebagai bahan dasar dan pedoman dilakukannya penelitian dan pembahasan dari permasalahan yang ada pada tugas akhir ini.
- c. Bab 3 Metodologi  
Dalam bab ini berisikan urutan proses dilakukannya pengerjaan dan penelitian dari tugas akhir ini yang

menjelaskan mekanisme eksperimentasi pengujian laju keausan.

d. Bab 4 Analisa dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan penjelasan mengenai analisa dan pembahasan dari hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk mengolah hasil pengujian laju keausan.

e. Bab 5 Penutup

Dalam bab ini berisikan mengenai kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil uji eksperimen serta saran-saran yang dapat digunakan untuk pengembangan tugas akhir ini untuk selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB II

### DASAR TEORI

---

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

##### 2.1.1 Penelitian Intan Nirwana (2005)

Intan Nirwana (2005), melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Kekuatan Transversa Resin Akrilik *Hybrid* setelah Penambahan Glass Fiber dengan Metode Berbeda”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan transversa resin akrilik hybrid dengan metode penambahan glass fiber yang berbeda. Hasil dari penelitian ini memberi informasi resin akrilik mana yang mempunyai kekuatan transversa paling tinggi.

Pada penelitian ini terdapat 3 kelompok: kelompok 1 resin akrilik *hybrid* tanpa *glass fiber* (kontrol), kelompok 2 penambahan *glass fiber* dalam resin akrilik *hybrid* yang sebelumnya direndam dalam metil metakrilat monomer selama 15 menit (metode 1), dan kelompok 3 penambahan *glass fiber* langsung dalam resin akrilik yang baru diaduk (metode 2). *Fiber* dapat digunakan untuk memperkuat bahan polimer, hal ini sangat penting karena terjadi adesi optimal antara *fibers* dan matrik polimer. Dalam Tabel 2.1 berikut ini, diperoleh hasil pengujian kekuatan transversa yang dilakukan oleh Nirwana.

**Tabel 2.1** Nilai Hasil Uji Kekuatan Transversa Resin Akrilik *Hybrid* setelah Penambahan *glass fiber* dengan metode berbeda dalam satuan MPa[1]

Kelompok	N	Rerata (MPa)	Standart Deviasi	p
1	6	94,94	9,45	0,001
2	6	118,27	11,09	
3	6	116,34	12,66	

eterangan:

kelompok 1 = Resin akrilik *hybrid* tanpa penambahan *glass fiber* (kontrol)

kelompok 2 = Resin akrilik *hybrid* ditambah *glass fiber* dengan metode 1

kelompok 3 = Resin akrilik *hybrid* ditambah *glass fiber* dengan

Pada penelitian ini penambahan *glass fibers* pada kelompok 2 dan 3 menunjukkan kekuatan transversa masing-masing 118,27 MPa dan 116,34 MPa, keduanya lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol yaitu 94,94 Mpa (tanpa *glass fibers*). Hasil data dari penelitian ini menunjukkan kekuatan transversa mengalami peningkatan sebesar 24,5% pada kelompok 2 dan 22,5% pada kelompok 3 setelah penambahan *woven glass fibers* (anyaman) pada resin akrilik *hybrid*. Penambahan *glass fiber* pada resin akrilik *hybrid* sangat bermanfaat untuk meningkatkan kekuatan basis gigi tiruan. Faktor lain yang mempengaruhi kekuatan resin akrilik adalah jumlah (konsentrasi) *fibers* dalam matrik polimer[1].

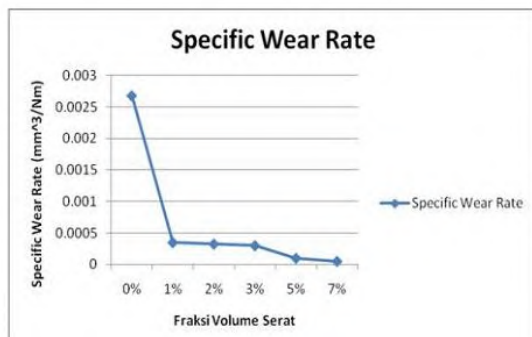
Dari hasil penelitian Intan Nirwana, kesimpulan dari pengujian kekuatan transversa ini menunjukkan bahwa efek penambahan 1% *glass fibers* dari *glass fibers* pada resin akrilik dengan persentase atau konsentrasi berbeda terhadap kekuatan transversa mengakibatkan peningkatan kekuatan transversa. Hal ini digunakan sebagai dasar pemikiran dilakukannya penelitian selanjutnya dalam tugas akhir yang dilakukan oleh Dwi Tarina Widianingrum (2012), yang menganalisis tentang laju keausan material uji resin akrilik dengan variasi penambahan penguat *fiberglass* untuk material *dental prosthesis* dengan kondisi tanpa pelumasan (*wet sliding*).

#### **2.1.2 Penelitian Dwi Tarina Widianingrum (2012)**

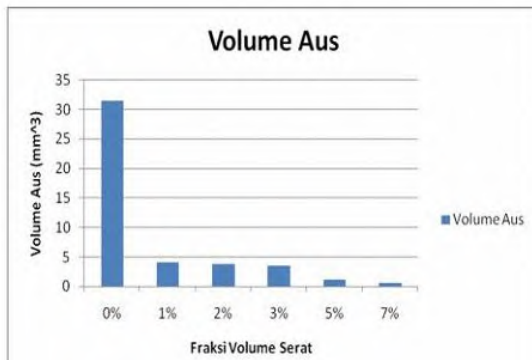
Dwi Tarina Widianingrum (2012), melakukan kajian mengenai tribologi dalam tugas akhirnya dengan judul “Studi Eksperimental Laju Keausan (*Specific Wear Rate*) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada *Dental Prosthesis*”. Dwi Tarina Widianingrum meneliti mengenai pengaruh penambahan 3 mm serat acak dengan variasi fraksi volume serat pada material resin akrilik untuk material *dental prosthesis* dalam kondisi *dry sliding*. Pada penelitiannya dilakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji keausan material gigi tiruan yang diuji dengan tribometer tipe *pin on disk* antara resin akrilik berpenguat serat sebagai pin dengan resin akrilik tidak berpenguat

serat sebagai disk pada kondisi tanpa pelumasan (*dry sliding*). Masing-masing spesimen uji diberikan jarak tempuh gesekan yang sama, yaitu sejauh 600 meter, dengan pembebanan sebesar 2 kg, *sliding speed* 0,07 m/s, serta variasi penambahan serat penguat sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 5%, dan 7%.

Berikut ini adalah hasil dari pengujian keausan yang dilakukan oleh Dwi Tarina Widianingrum.



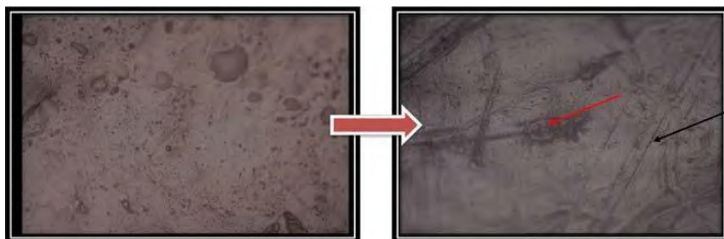
**Grafik 2.1** Nilai *specific wear rate* pada pembebanan 2 kg dan kecepatan 0,07 m/s [2]



**Grafik 2.2** Volume aus pada uji keausan resin akrilik berpenguat serat [2]

Dari kedua grafik pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 dapat dilihat bahwa dengan penambahan serat ternyata mampu mengurangi nilai *specific wear rate* resin akrilik pada material *dental prosthesis*. Hal ini ditunjukkan dengan hasil penelitian yaitu volume keausan terbesar terjadi pada material resin akrilik berpenguat serat 0% dan volume keausan terkecil terjadi pada resin akrilik berpenguat serat 7%. Dari hasil penelitian didapatkan laju keausan cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin banyaknya fraksi volume serat. Spesimen dengan fraksi volume serat sebesar 7% memiliki volume aus paling kecil yaitu sebesar  $0,54 \text{ mm}^3$  dengan nilai *specific wear rate* sebesar  $9,55 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , serta spesimen dengan 0% fraksi serat memiliki volume aus terbesar yaitu  $31,5 \text{ mm}^3$  dengan nilai *specific wear rate* sebesar  $2,68 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Pengujian keausan ini juga dapat mengetahui mekanisme keausan yang terjadi selama proses pengujian keausan. Mekanisme keausan dapat diketahui dengan melakukan analisis pada foto struktur mikro. Dari hasil foto mikro diketahui mekanisme keausan yang dominan adalah mekanisme keausan *abrasive* dan keausan *fatigue*[2]. Pada gambar struktur mikro hasil pengujian keausan terdapat dua panah yaitu panah berwarna merah dan panah berwarna hitam. Pada panah merah menunjukkan keausan *fatigue* dan panah hitam menunjukkan keausan *abrasive*. Pada gambar sebelah kiri adalah sebelum pengujian dan pada gambar sebelah kanan adalah setelah pengujian.



**Gambar 2.1** Foto mikro spesimen 0% serat[2]



**Gambar 2.2** Foto mikro spesimen 1% serat[2]



**Gambar 2.3** Foto mikro spesimen 2% serat[2]



**Gambar 2.4** Foto mikro spesimen 3% serat[2]



**Gambar 2.5** Foto mikro spesimen 5% serat[2]



**Gambar 2.6** Foto mikro spesimen 7% serat[2]

Dari hasil penelitian Dwi Tarina Widianingrum, pengujian keausan *dry slidding* pada material resin akrilik untuk gigi tiruan dengan penambahan serat 7% memiliki laju keausan yang rendah. Pada penelitian tugas akhir yang dilakukan ini untuk melanjutkan kembali penelitian tugas akhir Dwi Tarina Widianingrum dengan menggunakan material uji resin akrilik berpenguat serat 7% *fiberglass* dengan susunan serat yang berbeda yaitu ukuran serat yang digunakan lebih panjang yaitu 6 mm dimana divariasikan dengan pola susunan serat teratur dan acak yang kemudian dibandingkan dengan material resin akrilik tanpa penguat serat. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi *wet slidding* dan material uji direndam dahulu dalam cairan saliva buatan selama 10 jam. Hal ini bertujuan untuk menganalisis keadaan material resin akrilik berpenguat serat sebagai material gigi tiruan yang dikondisikan seperti di dalam rongga mulut manusia.

## **2.2 Persyaratan Material Gigi Tiruan**

Salah satu bahan kedokteran gigi yang telah banyak diaplikasikan untuk pembuatan anasir dan basis gigi tiruan, pelat ortodonsi, sendok cetak khusus, serta restorasi mahkota dan jembatan dengan hasil memuaskan adalah resin akrilik. Berikut ini beberapa kelebihan dari resin akrilik yang merupakan salah satu pilihan bahan restorasi gigi sampai saat ini, yaitu:

1. Tidak toxis dan tidak mengiritasi

2. Mempunyai kekuatan impak tinggi, sehingga tidak mudah patah atau pecah jika terbentur atau terjatuh
3. Mempunyai *fatigue strength* (ketahanan) yang tinggi, sehingga akrilik dapat dipakai sebagai bahan restorasi yang tahan lama
4. Keras dan memiliki daya tahan yang baik terhadap abrasi
5. Estetis cukup baik, hendaknya transparan atau translusen dan mudah di pigmen. Warna yang diperoleh hendaknya tidak luntur
6. Memungkinkan bahan untuk dideteksi dengan sinar-X apabila tertelan
7. Mudah direparasi jika patah
8. Mudah dibersihkan[5]

Syarat-syarat yang harus dipenuhi resin akrilik sebagai basis gigi tiruan, yaitu :

1. Harus dapat dibersihkan dengan mudah
2. Tidak berasa, tidak berbau, non toksik dan tidak mengiritasi jaringan
3. Tidak dapat larut dalam cairan mulut
4. Harus ringan dan memiliki relatif thermal conduction yang tinggi
5. Temperatur pelunakan harus diatas temperatur yang tertinggi dari makanan dan minuman
6. Harus dapat dipreparasi
7. Mudah dimanipulasi dengan alat-alat sederhana
8. Tidak dapat menyerap cairan mulut sehingga tetap bersih atau tidak menjadi berbau
9. Mempunyai kekuatan (*strength*) dan tahan terhadap abrasi dalam penggunaan yang normal
10. Harus stabil dimensinya dalam segala kondisi
11. Tidak berubah warna didalam mulut
12. Bahan-bahan ini harus mempunyai sifat transparan dan dapat diwarnai agar dapat meniru warna jaringan mulut[4]

Bahan yang digunakan sebagai gigi tiruan hendaknya memiliki sifat mekanik yang sama atau lebih bagus dari sifat mekanik gigi[4]. Berikut ini beberapa sifat mekanik gigi dan beberapa material gigi tiruan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Sifat mekanik gigi dan material gigi tiruan[3].

<b>Material</b>	<b><i>Modulus of elasticity</i> (MPa)</b>	<b><i>Poisson's ratio</i></b>	<b><i>Tensile strength</i> (MPa)</b>
<i>Amalgam</i>	13720	0,33	48 – 69
<i>Composite P50</i>	3963	0,30	41 – 69
<i>Glass-ionomer</i>	12162	0,30	5,5
<i>Dentin</i>	18600	0,31	48
<i>Enamel</i>	41400	0,30	10
<i>Pulp</i>	0.003	0,45	-
<i>Alveolar bone</i>	13800	0,26	121

### **2.3 Karakteristik *Fiber Reinforced Composite***

*Fiber reinforced composite* mulai banyak digunakan pada bidang industri dan aplikasi aerospace karena ringan, kuat dan tidak mudah terbakar. Sedangkan di dunia kedokteran gigi, material *fiber reinforced composite* ini sudah mulai dikembangkan penggunaannya sebagai material gigi tiruan. Material ini menjadi pertimbangan karena sifat mekaniknya yang bagus, memiliki estetika yang bagus dan kemampuan yang bagus dalam berikatan dengan material resin komposit pada kedokteran gigi[6]. Ketahanan dari material *fiber reinforced composite* ini berhubungan dengan properties dari masing-masing fiber dan resin, impregnasi fiber dengan resin, adhesi serat dengan resin, volume fiber pada matrik resin, orientasi dari fiber dan letak fiber pada prosthesis.

Beberapa penelitian juga telah dilakukan dalam mengembangkan material *fiber reinforced composite* ini sebagai material gigi tiruan. Penelitian yang dilakukan oleh David J. Callaghan, Ashkan Vaziri, dan Hamid Nayeab-Hashemi (2006),



yang berjudul *Effect of fiber volume fraction and length on the wear characteristics of glass fiber-reinforced dental composite*. Penelitian ini menggunakan material dental resin dengan penambahan glass fiber, spesimen diuji dengan menggunakan *pin on disk*. Spesimen pin yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

- 3 spesimen dengan 2.0 wt% 1.5 mm fiber
- 3 spesimen dengan 5.1 wt% 1.5 mm fiber
- 3 spesimen dengan 5.7 wt% 3.0 mm fiber
- 3 spesimen dengan 7.6 wt% 1.5 mm fiber

*Normal load* yang diaplikasikan bervariasi antara 4.45 – 22.24 N, dimana pemberian beban ini disesuaikan pada kondisi mastikasi (pengunyahan). Pada penelitian ini hanya dilakukan satu kali pada masing-masing kondisi pemberian beban, sehingga tidak perlu dilakukan analisis statistik. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa spesimen 2% dan 7,6% FRC memiliki wear volume yang paling besar. Untuk pengaruh dari lebar serat, spesimen dengan panjang serat 3 mm memiliki wear rate yang lebih rendah bila dibandingkan dengan spesimen dengan panjang serat 1.5 mm[7].

Gaya oklusi (gaya vertical) selama gigi mengunyah dan menelan dengan berbagai jenis makanan adalah sekitar 70 N. Dalam persamaan tekanan,  $P = F/A$ , dimana gaya berbanding lurus dengan luasan permukaan. Pada gigi molar memiliki luasan oklusal dan ligament periodonsium yang paling besar yaitu 451 mm<sup>2</sup>, sehingga tekanan yang diterima gigi sekitar 0.15 N/mm<sup>2</sup>. Pada spesifikasi tribometer dan spesimen, yang digunakan pada penelitian ini, tekanan yang dihasilkan dengan pembebanan 2 kg dan luas permukaan dari spesimen adalah 176 mm<sup>2</sup> adalah sebesar 0.11 N/mm<sup>2</sup>.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zuriah Sitorus dan Eddy Dahar (2012), yang berjudul “Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanis Resin Akrilik Polimerisasi Panas dengan Penambahan Serat Kaca”, melakukan analisis terhadap RAPP (Resin Akrilik Polimerisasi Panas) untuk membandingkan sifat fisis dan

mekanik RAPP yang ditambah serat kaca dengan RAPP tanpa penambahan serat kaca. Serat kaca yang digunakan adalah produk *Taiwan Glass* berukuran 4mm, 6 mm, dan 8mm sebanyak 1% dari total volume RAPP. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh hasil nilai dari densitas, porositas, absorpsi air, kekuatan tekan, kekerasan *vickers*, kekuatan tarik, modulus *young's*, kekuatan impak, kekuatan transversal, koordinat warna, dan analisis mikrostruktur bahwa RAPP dengan penambahan serat 6 mm merupakan RAPP yang menghasilkan peningkatan kualitas fisis dan mekanis yang optimum[8].

## 2.4 Menghitung Laju Keausan

Dalam mendeterminasikan keausan, teknik pengukuran yang berbeda dapat digunakan. Hal tersebut disebabkan oleh volume keausan,  $V$ , yang dapat diasumsikan merupakan fungsi dari *sliding distance*,  $L$ , kekerasan dari material yang lebih lunak,  $H$ , pembebanan yang diberikan,  $W$ , dan *sliding velocity*,  $V$  (persamaan 2.1).

$$V = f(L, W, H, \tilde{V}) \quad (2.1)$$

Berdasarkan standar German DIN 50321, “*Wear-quantities*”, keausan dapat dideteksi dengan mengukur secara langsung kuantitas keausan, yaitu dengan mengukur:

- a. Perubahan geometri pada spesimen:
  - 1) Perubahan pada dimensi secara linier
  - 2) Perubahan pada *cross-sections*
  - 3) Perubahan pada volume
- b. Perubahan massa pada spesimen
- c. Jumlah dari *worn material-loss*

Atau dengan mengukur kuantitas keausan secara relatif, yaitu *wear rates* sebagai berikut:

- d. *The wear-time-ratio* (*wear velocity*)
- e. *The wear-distance-ratio*

Atau dengan mengukur *wear coefficient* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$f. \quad K = \frac{\text{wear volume}}{\text{load} \cdot \text{distance}} \left( \frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right) \quad (2.2)$$

## 2.5 Saliva

Saliva adalah suatu cairan oral yang kompleks dan tidak berwarna yang terdiri atas campuran sekresi dari kelenjar ludah besar dan kecil yang ada pada mukosa oral. Saliva memiliki peranan utama dalam melindungi gigi terhadap kondisi asam, serta melindungi jaringan lunak rongga mulut. Pada penelitian yang dilakukan oleh Annissa Tari Aramintha (2014), yang berjudul “Kadar Kalsium dalam Saliva Buatan setelah aplikasi CPP-ACP”, digunakan saliva buatan laboratorium dengan kandungan yang mirip dengan saliva manusia. Derajat keasaman (pH) saliva buatan yang normal berkisar antara 6,0-7,0. Larutan saliva buatan digunakan sebagai larutan medium buffer untuk menirukan kondisi rongga mulut. Selain itu, saliva buatan ini sering digunakan sebagai bahan penelitian untuk penelitian bahan restorasi gigi[9].

Komposisi saliva buatan laboratorium ini memiliki komposisi saliva buatan sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Komposisi Saliva Buatan[9]

NaCl	0,08 wt%
KCl	0,12 wt%
MgCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,01 wt%
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,03 wt%
CaCl <sub>2</sub> . 2H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,01 wt%
CMC-Na (sodium carboxymethyl cellulose)	0,10 wt%
IEW (ion exchange water)	99,6 wt%
(Oshiro, <i>et al.</i> , 2007)	

Saliva buatan dalam penelitian tugas akhir ini digunakan sebagai bahan untuk merendam sekaligus pelumas material resin akrilik gigi tiruan. Saliva buatan ini sebagai cairan perendam material uji karena hal ini dikondisikan sesuai dengan gigi yang ada di dalam mulut manusia. Saliva juga sebagai pelicin saat gigi mengunyah makanan. Oleh sebab itu, cairan pelumas pada

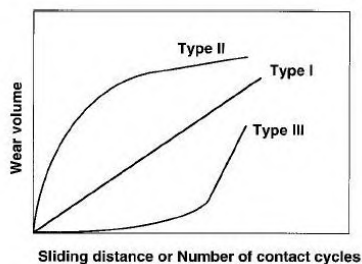
penelitian ini menggunakan cairan saliva buatan sebagai pengganti saliva manusia.

## 2.6 Keausan (*Wear*)

### 2.6.1 Pengertian Keausan

Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian, jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dan lain-lain).

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan bisa dilihat pada Gambar 2.7.

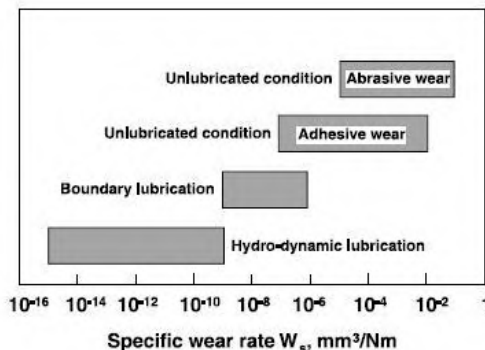


**Gambar 2.7** Tiga macam tipe kurva keausan[2]

Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya *rate* keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada *rate* rendah, tipe keausan ini sering diamati pada jenis material logam, tipe III menunjukkan bencana besar peralihan dari *rate* keausan rendah menuju *rate* keausan yang begitu tinggi, seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*), ini terjadi pada material jenis keramik.

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan (*hardness*) dari material yang aus.

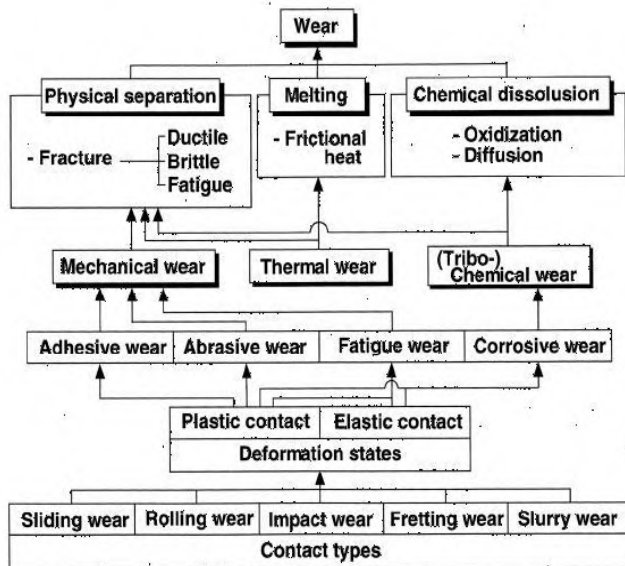
Pada Gambar 2.8 ditunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara  $10^{-15}$  hingga  $10^{-1}$  mm<sup>3</sup>/Nm.



**Gambar 2.8** *Specific wear rate* pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan[2]

## 2.6.2 Mekanisme Keausan

Seperti telah digambarkan pada Gambar 2.9 keausan dapat terjadi melalui empat macam mekanisme, berikut ini adalah penjelasan dari masing - masing mekanisme keausan :



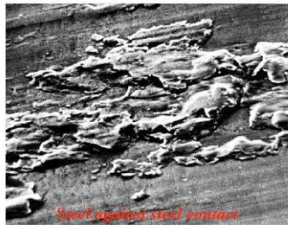
**Gambar 2.9** Mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan[2]

Berikut ini adalah penjelasan dari Gambar 2.9 mengenai berbagai macam tipe keausan yang dihasilkan oleh berbagai macam variasi, yaitu:

### 1. Keausan adesif (*adhesive wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) antara satu sama lain, serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu oleh yang lain, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10 dan mekanismenya pada Gambar 2.11.

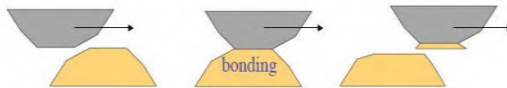
Faktor yang menyebabkan terjadinya keausan adesif antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada material, yaitu ikatan ion, kovalen, ikatan logam, atau ikatan van der Waals dari material yang bergesekan.



*H. Czichos, Tribology, Springer 1978*

**Gambar 2.10** Pengamatan *micrographs* keausan adesif[2]

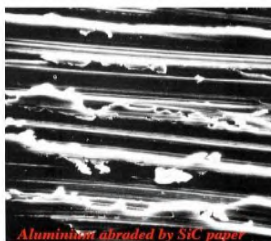
Adhesive wear by strong interfacial bonding



**Gambar 2.11** Mekanisme keausan adesif[2]

## 2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12 dan mekanismenya pada Gambar 2.13.



*H. Czichos, Tribology, Springer 1978*

Dia 10/44

**Gambar 2.12** Pengamatan *micrographs* keausan abrasif[2]

Abrasive wear by plastic deformation and microcutting

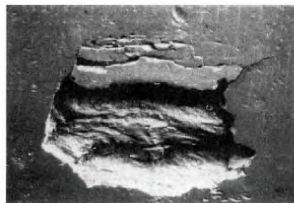


**Gambar 2.13** Mekanisme keausan abrasif[2]

### 3. Keausan Lelah (*fatigue wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

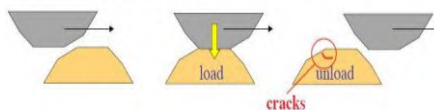
Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Jadi, volume material yang hilang oleh keausan lelah bukanlah parameter yang terlalu penting, tetapi yang lebih penting adalah umur material setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul. Gambar 2.14 menunjukkan kegagalan lelah yang terjadi pada *ball bearing* dan Gambar 2.15 menunjukkan mekanisme keausan lelah.



*Fatigue failure of a steel ball bearing*

**Gambar 2.14** Keausan lelah pada ball bearing[2]

Fatigue wear by repeated load and unload cycles

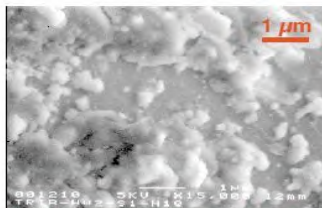


**Gambar 2.15** Mekanisme keausan lelah[2]



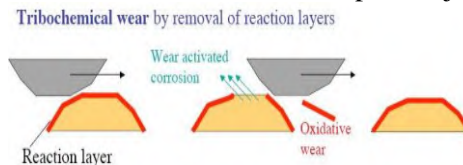
#### 4. Keausan Korosif (*corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh factor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.16 menunjukkan keausan korosif pada baja dan Gambar 2.17 menunjukkan mekanisme keausan korosif.



*Agglomerated oxide particles after wear of a passive steel.*

**Gambar 2.16** Keausan korosif pada baja[2]



**Gambar 2.17** Mekanisme keausan korosif[2]

#### 2.7 Gerakan antar Pemukaan Gigi yang Bergesekan

Mengunyah adalah proses penghancuran makanan secara mekanik yang terjadi di dalam rongga mulut dan melibatkan organ-organ di dalam rongga mulut seperti, gigi-geligi, rahang, lidah, palatum, dan otot-otot pengunyahan. Penghancuran makanan yang dihasilkan karena adanya kekuatan saat mengunyah. Besarnya kekuatan mengunyah dapat digolongkan atas empat kelompok yaitu : *low* (besar kekuatan < 59 pon),

*medium low* (besar kekuatan 59- 100 pon), *medium high* (besar kekuatan 101-144 pon), dan *high* (besar kekuatan > 144 pon)[11].

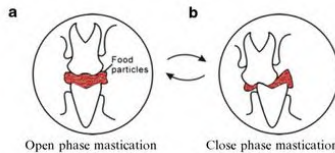
*Shear strength* merupakan ketahanan suatu material terhadap gesekan yang terjadi dimana gaya gesek ini dihasilkan dari gesekan dua permukaan yang paralel dengan arah yang berlawanan satu dengan lainnya. Gaya gesek biasanya timbul pada saat mastikasi terutama saat menggerus makanan. Pada saat proses pengunyahan berlangsung maka akan terjadi tiga gaya sekaligus yaitu gaya kompresi yang paling banyak berperan, gaya tarik, serta gaya gesek. Gaya gesek ini timbul akibat adanya gesekan antara makanan dengan gigi pada saat pengunyahan[11].

Di bawah ini merupakan gambar gerakan pengunyahan makanan sebagai fungsi gigi. Dalam gerakan ini, gigi mengalami gesekan antar permukaan gigi. Gerakan gesekan antar gigi ini termasuk salah satu gerak gaya gesek statis. Gaya gesekan statis cenderung mempertahankan keadaan diam benda. Hal ini sesuai dengan kondisi rahang gigi manusia yang diam. Gerakan terjadi karena adanya gaya dari otot rahang bawah, lidah, dan gigi.

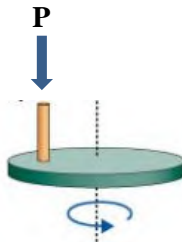
Gaya ini terjadi antara dua permukaan benda yang diam atau tidak ada gerak relatif antara satu benda dengan benda lainnya. Saat suatu benda ditarik dengan sebuah gaya dan benda tersebut belum bergerak, maka berarti ada gaya yang berlawanan arah dengan arah gerak benda tersebut. Gaya itu adalah gaya gesekan.

Gesekan biasanya terjadi di antara dua permukaan benda yang bersentuhan, baik terhadap udara, air atau benda padat. Ketika sebuah benda bergerak di udara, permukaan benda tersebut akan bersentuhan dengan udara sehingga terjadi gesekan antara benda tersebut dengan udara. Demikian juga ketika bergerak di dalam air. Gaya gesekan juga selalu terjadi antara permukaan benda padat yang bersentuhan, sekalipun benda tersebut sangat licin. Permukaan benda yang sangat licin pun sebenarnya sangat kasar dalam skala mikroskopis (*asperity*). Jika permukaan suatu benda bergeseran dengan permukaan benda lain, masing-masing benda tersebut melakukan gaya gesekan antara

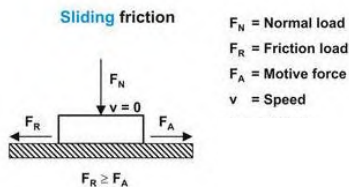
satu dengan yang lain. Gaya gesekan pada benda yang bergerak selalu berlawanan arah dengan arah gerakan benda tersebut. Selain menghambat gerak benda, gesekan dapat menimbulkan aus dan kerusakan[14].



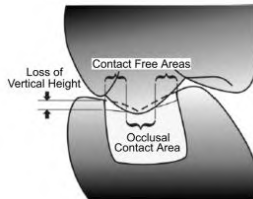
**Gambar 2.18** Skema gerakan gigi (a) sebelum pengunyahan, dan (b) setelah pengunyahan[12]



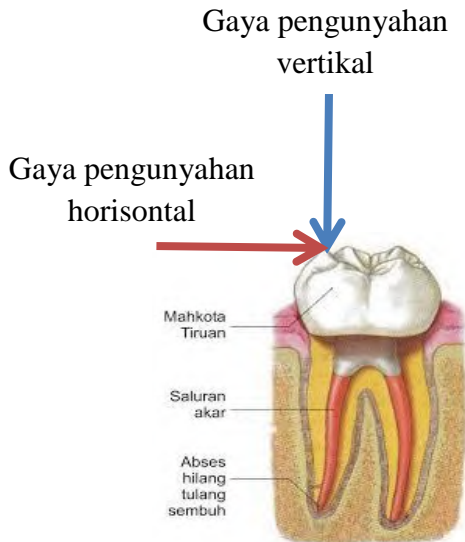
**Gambar 2.19** Skema gaya gesek pada alat uji



**Gambar 2.20** Skema *sliding contact*[14]



**Gambar 2.21** Area gigi yang mengalami *sliding contact*



**Gambar 2.22** Gaya yang diterima gigi saat beroperasi

Gigi juga memiliki parameter gerakan pengunyahan. Gerakan *sliding* antar gigi memiliki kecepatan antara 0,25-0,50 mm/s. Gerakan gesekan gigi ini memiliki *range* nilai di bawah nilai *sliding speed* alat uji tribometer *pin on disk*. Hal ini berarti dengan kecepatan *sliding speed* alat tribometer *pin on disk* yang paling rendah yaitu 0,07 m/s masih menjangkau kecepatan *sliding* gigi paling mendekati. Berikut ini adalah secara rinci parameter-parameter pada saat pengunyahan oleh gigi manusia.

**Tabel 2.4** *Interoral Chewing Parameters*[12]

Chewing load (N)	Chewing frequency (Hz)	Sliding speed (mm/s)	Sliding distances (mm)	Duration (s)	
				Total	Occlusion
2–150, Max 450	1–2	0.25–0.50	0.9–1.2	0.70	0.10

Source: From Lewis and Dwyer-Joyce [26], Sajewicz and Kulesza [27], and Rees and Jagger [35]

## **2.8 Material Gigi Tiruan yang Memiliki Sifat Tahan Aus**

Gigi manusia merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai penghalus makanan. Banyak faktor yang dapat menyebabkan kerusakan pada gigi baik secara kimia maupun mekanis. Kerusakan gigi tersebut dapat mengakibatkan gigi tanggal. Oleh karena itu, gigi yang rusak tersebut harus digantikan dengan gigi palsu agar fungsi gigi sebagai alat penghancur makanan tidak terganggu. Gigi palsu sangat banyak macamnya. Resin akrilik sebagai material gigi tiruan merupakan salah satu pilihan yang baik sebagai pengganti gigi yang rusak.

Gigi digunakan secara terus-menerus untuk mengunyah makanan. Gigi tiruan tersebut dipasang di dalam mulut. Kondisi lingkungan mulut yang basah karena saliva sangat mempengaruhi kondisi permukaan material resin komposit karena resin komposit bersifat menyerap air. Gigi tiruan ini dipakai untuk jangka panjang dimana material yang digunakan harus memiliki sifat mekanis yang baik agar dapat tahan lama ketika dipakai oleh penggunanya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa kekuatan bending resin akrilik lebih baik ketika ditambahkan serat penguat.

Gigi bergesekan ketika beroperasi. Faktor keausan bisa saja terjadi baik karena kontak antara gigi atas dan gigi bawah maupun gigi dengan makanan. Ketika material gigi tiruan tidak tahan terhadap keausan maka berakibat penggunanya harus sering mengganti dengan yang baru. Hal ini tentu sangat tidak ekonomis. Oleh sebab itu, penelitian mengenai resin akrilik yang diperkuat serat apakah dapat mengurangi laju keausan perlu dilakukan. Dalam penelitian ini juga diberikan variasi susunan serat penguat berpola acak dan teratur dengan fraksi volume 7% sebagai bahan material gigi tiruan yang baru dengan sifat yang lebih baik juga. Dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa laju keausannya dapat berkurang dengan adanya variasi susunan serat penguat, maka material ini dapat bermanfaat sebagai salah satu alternatif bahan gigi tiruan yang pemakaiannya bisa tahan lama dan lebih ekonomis.

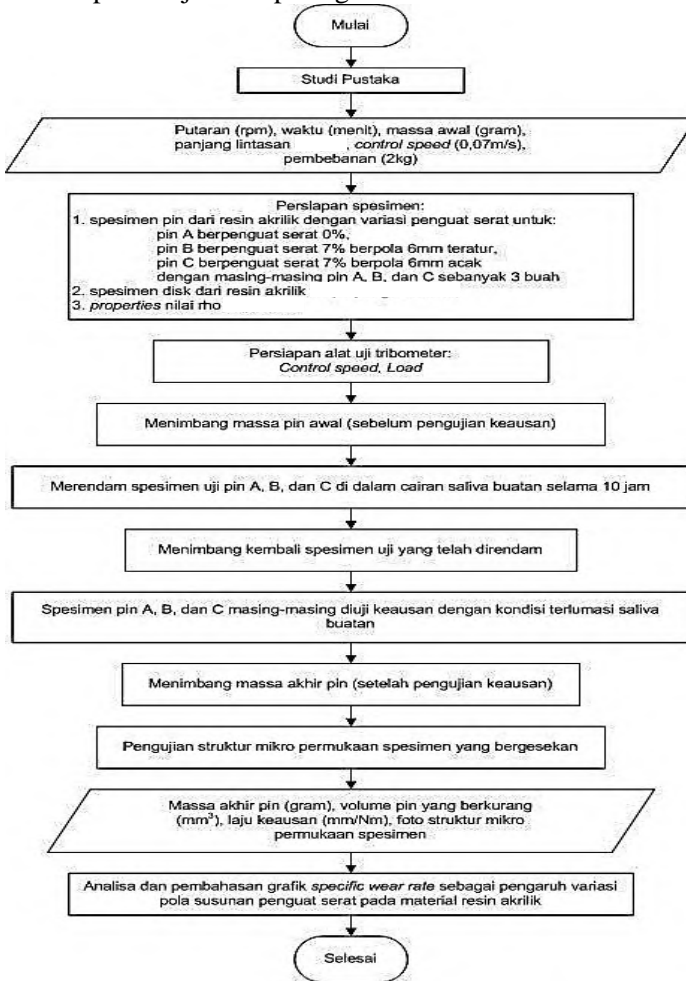
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

---

### 3.1 Diagram Alir Pengambilan Data

Secara singkat, diagram alir langkah kerja pengujian keausan dapat disajikan seperti gambar di bawah ini:



### 3.2 Penentuan Variabel Uji dan Input Pengujian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan studi eksperimental tentang nilai laju keausan dari suatu material yang ditinjau dari aspek tribologi. Secara keseluruhan, penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah metodologi. Pengujian laju keausan material resin akrilik ini dilakukan untuk membandingkan nilai laju keausan material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat 7% *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat yang berpola 6 mm serat teratur, 6 mm serat acak, dan resin akrilik berpenguat 0% *fiberglass* sebagai spesimen uji kontrol. Semua spesimen tersebut dikondisikan dalam pengujian keausan terendam saliva buatan.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan variabel-variabel uji, yaitu sebagai berikut:

1. Spesimen pin yang digunakan dalam studi eksperimental ini yaitu sebagai berikut:
  - a. 3 spesimen uji pin berbahan resin akrilik berpenguat 0% *fiberglass* yang selanjutnya disebut sebagai spesimen A
  - b. 3 spesimen uji pin berbahan resin akrilik berpenguat 7% *fiberglass* dengan susunan serat penguat yang berpola 6 mm serat teratur yang selanjutnya disebut sebagai spesimen B
  - c. 3 spesimen uji pin berbahan resin akrilik berpenguat 7% *fiberglass* dengan susunan serat penguat yang berpola 6 mm serat acak yang selanjutnya disebut sebagai spesimen C
2. Kondisi spesimen pin yang akan dilakukan pengujian eksperimental laju keausan ini adalah spesimen uji pin direndam dalam cairan saliva buatan dahulu selama 10 jam dan terendam saliva buatan saat dilakukan uji keausan.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan input-input pengujian, yaitu sebagai berikut:

1. Beban yang akan digunakan dalam studi eksperimental ini adalah sebesar 2 kg. Pemilihan nilai beban ini didasarkan



atas penelitian sebelumnya yang menggunakan beban 22,24 N dimana nilai beban ini sudah sesuai dengan alat *tribometer pin on disk* yang ada.

2. Nilai sliding speed yang digunakan untuk pengujian ini yaitu sebesar 0.07 m/s.

### 3.3 Perhitungan untuk Massa Jenis Komposit

Rumus di bawah ini merupakan perhitungan untuk mengetahui nilai massa jenis dan fraksi volume serat dari setiap spesimen uji yang akan digunakan. Berikut ini adalah penentuan masing-masing ukuran serat yang akan ditambahkan.

Massa jenis resin akrilik tanpa penguat, yaitu:

$$\rho_{\text{resin}} = 1,19 \text{ gr/cm}^3$$

Massa jenis serat penguat, yaitu:

$$\rho_{\text{serat}} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$$

Berikut ini adalah jumlah komposisi serat yang ditambahkan pada material uji resin akrilik:

1. Spesimen pin dengan komposisi 100% resin, 0% serat

$$\begin{aligned} &\text{➤ } V_{\text{resin}} = \pi r^2 t \\ &\text{➤ } V_{\text{resin}} = 3,14 \times (0,75 \text{ cm})^2 \times 1 \text{ cm} \\ &\text{➤ } V_{\text{resin}} = 1,767 \text{ cm}^3 \\ &\text{➤ } m_{\text{resin}} = V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}} \\ &\text{➤ } m_{\text{resin}} = 1,767 \text{ cm}^3 \times 1,19 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\ &\text{➤ } m_{\text{resin}} = 2,1 \text{ gram} \end{aligned}$$

2. Spesimen pin dengan komposisi 93% resin, 7% serat

$$\begin{aligned} &\text{➤ } m_{\text{resin}} = \frac{93}{100} \times V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}} \\ &\text{➤ } m_{\text{resin}} = \frac{93}{100} \times 1,767 \text{ cm}^3 \times 1,19 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\ &\text{➤ } m_{\text{resin}} = 1,96 \text{ gram} \\ &\text{➤ } m_{\text{serat}} = \frac{7}{100} \times V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{serat}} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } m_{\text{serat}} = \frac{7}{100} \times 1,767 \text{ cm}^3 \times 2,54 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{➤ } m_{\text{serat}} = 0,31 \text{ gram}$$

### 3. Spesimen disk dengan komposisi 93% resin, 7% serat

$$\text{➤ } V_{\text{resin1}} = \pi r^2 t$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin1}} = 3,14 \times (5 \text{ cm})^2 \times 2 \text{ cm}$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin1}} = 157 \text{ cm}^3$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin2}} = \pi r^2 t$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin2}} = 3,14 \times (4 \text{ cm})^2 \times 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin2}} = 25,12 \text{ cm}^3$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin3}} = \pi r^2 t$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin3}} = 3,14 \times (2 \text{ cm})^2 \times 0,5 \text{ cm}$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin3}} = 6,28 \text{ cm}^3$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin}} = 157 - (25,12 - 6,28)$$

$$\text{➤ } V_{\text{resin}} = 138,16 \text{ cm}^3$$

$$\text{➤ } m_{\text{resin}} = \frac{93}{100} \times V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{resin}}$$

$$\text{➤ } m_{\text{resin}} = \frac{93}{100} \times 138,16 \text{ cm}^3 \times 1,19 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{➤ } m_{\text{resin}} = 152,901672 \text{ gram}$$

$$\text{➤ } m_{\text{serat}} = \frac{7}{100} \times V_{\text{resin}} \times \rho_{\text{serat}}$$

$$\text{➤ } m_{\text{serat}} = \frac{7}{100} \times 138,16 \text{ cm}^3 \times 2,54 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

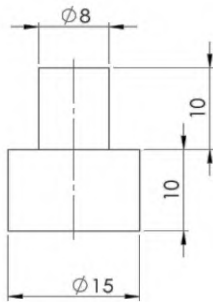
$$\text{➤ } m_{\text{serat}} = 24,564848 \text{ gram}$$

### 3.4 Persiapan Spesimen

Dalam melakukan pengujian eksperimental ini menggunakan beberapa spesimen uji. Adapun persiapan yang dilakukan terhadap spesimen yang akan diujikan adalah sebagai berikut ini:

1. Spesimen uji berbentuk pin dan disk dimana terbuat dari bahan yang sama yaitu material resin akrilik

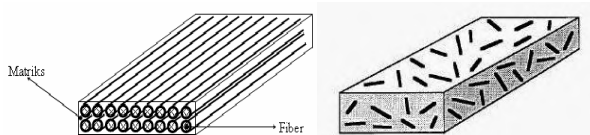
- a. Pin spesimen memiliki bentuk silinder pejal. Material pin dari resin akrilik berpenguat *fiberglass*. Ukuran dari pin spesimen ini dapat dilihat seperti gambar 3.1 dimana semua dimensinya menggunakan satuan milimeter (mm). Adapun variasi susunan pola serat yang digunakan untuk material pin resin akrilik yaitu sepanjang 6 mm serat dan dapat dilihat pada gambar 3.2.



**Gambar 3.1** Desain pin

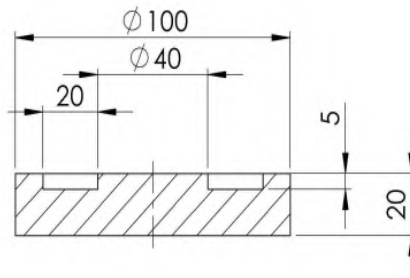


**Gambar 3.2** Potongan serat dengan ukuran sepanjang 6 mm

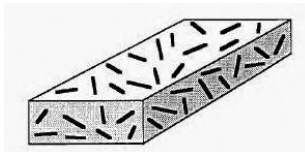


**Gambar 3.3** Susunan serat untuk pin dari resin akrilik berpenguat serat dengan pola teratur (kiri) dan pola acak (kanan)

- b. Disk spesimen memiliki bentuk piringan silinder pejal. Material dari resin akrilik berpenguat 7% *fiberglass*. Ukuran dari disk spesimen ini dapat dilihat seperti gambar 3.3 dimana semua dimensinya menggunakan satuan milimeter (mm). Adapun variasi susunan pola serat yang digunakan untuk material disk resin akrilik yaitu sepanjang 6 mm serat dan dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Desain Disk



**Gambar 3.5** Susunan serat untuk disk dari resin akrilik berpenguat serat dengan pola acak

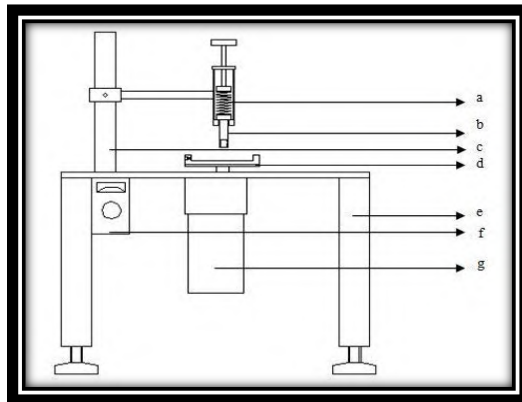
2. Bahan perendam menggunakan cairan saliva buatan
3. Bahan pembersih tribometer *pin on disk* menggunakan air dan tissue

### 3.5 Persiapan Tribometer

Mempersiapkan alat uji *tribometer tipe pin on disk*. Pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari *speed control*, *variable load*, dan pengaturan semua komponen dari alat uji *tribometer*. *Tribometer* yang digunakan dapat dilihat pada gambar visualisasi 3D pada gambar 3.5 di bawah ini.



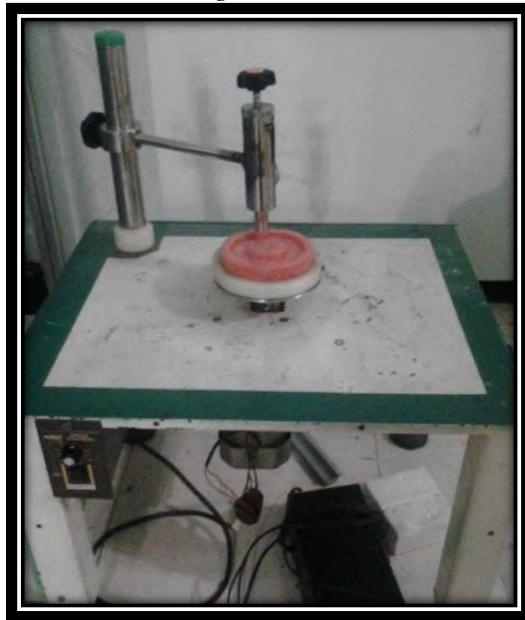
**Gambar 3.6** Visualisasi 3D *tribometer pin on disk*[2].



**Gambar 3.7** Bagian-bagian dari alat *tribometer pin on disk*[2].

Keterangan:

- a. *Load control with adjustable spring*
- b. *Pin specimen holder with lock*
- c. *Metal main holder with flexible mounting and flexible radius (adjustable)*
- d. *Round metal disk table with rigid design*
- e. *Tribometer table with rigid design and low damping/vibration effect*
- f. *Speed control with selectable level*
- g. *AC motor with reducer gear box*



**Gambar 3.8** Pengujian Keausan

Spesifikasi alat uji *tribometer pin on disk* yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

<i>Sliding speed range</i>	: 8,37 – 250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	: 8 – 60 rpm
<i>Maximun normal load</i>	: 150 N

<i>Frictional force</i>	: 0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	: 10 mm
<i>Pin size</i>	: 8 – 15 mm diameter/diagonal
<i>Disk size</i>	: 100 mm diameter x 20 mm tebal
<i>Wear track diameter</i>	: 20 – 80 mm
Polimer (sebagai pin)	: resin akrilik berpenguat serat dengan variasi susunan serat penguat
Polimer (sebagai disk)	: resin akrilik berpenguat serat dengan pola acak

### 3.6 Langkah Kerja Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja studi eksperimental. Adapun langkah-langkah pengerjaan dari studi eksperimental ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan di dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
2. Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji penelitian. Spesimen terdiri dari dua jenis material yaitu resin akrilik berpenguat serat untuk pin dan resin akrilik tanpa penguat serat untuk disk.
3. Pengukuran massa awal spesimen pin A, B, dan C dilakukan dengan menggunakan timbangan digital.
4. Penentuan jarak radius spesimen antara pin dengan disk. Jarak antara pusat pin dengan pusat disk yaitu sebesar 0,04 meter.
5. Mempersiapkan alat uji *tribometer pin on disk* dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi alat uji untuk *speed control*, *variable load*, dan pengaturan semua komponen dari tribometer.
6. Melakukan pengecekan dan pengaturan pada setiap komponen alat uji.

7. Memberikan input pembebanan 2 kg dan *speed control* pada level 20 yang setara dengan kecepatan sebesar 0,07 m/s.



**Gambar 3.9** Kalibrasi massa

Putaran diukur dengan menggunakan alat *tachometer* dan didapatkan rpm dari *speed control* pada level 20 yaitu sebesar 14,8 rpm.



**Gambar 3.10** Kalibrasi kecepatan putaran



Waktu pengujian yang digunakan yaitu selama 136 menit. Sehingga, jarak dari *wear track* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut ini:

$$\frac{s}{\pi \times d \times n} = t$$

(3.1)

$$\frac{s}{\frac{22}{7} \times 0,08 \times 14,8} = 136 \text{ menit}$$

$$\frac{s}{3,72} = 136 \text{ menit}$$

$$s = 505,92 \text{ meter}$$

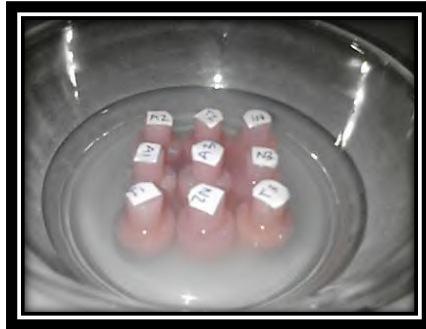
Keterangan:

t = waktu pengujian (menit)

s = panjang *wear track* pada pin (meter)

d = diameter *track* pin (meter)

8. Melakukan perendaman pada masing-masing spesimen pin A, B, dan C di dalam cairan saliva buatan selama 10 jam.



**Gambar 3.11** Proses Perendaman Pin dalam Saliva Buatan

9. Menimbang kembali massa masing-masing spesimen pin A, B, dan C yang telah selesai direndam dengan menggunakan timbangan digital.
10. Melakukan pengujian keausan yaitu spesimen uji pin A, B, dan C yang dikondisikan terlubrikasi saliva buatan saat bergesekan dengan disk.

11. Selama pengujian keausan, panjang *wear track* dibuat konstan sepanjang 505,92 meter dengan waktu pengujian selama 136 menit.



**Gambar 3.12** Pin Spesimen yang digesek saat Pengujian Keausan

12. Menimbang massa akhir untuk setiap spesimen A, B, dan C. Melakukan pencatatan hasil data pengujian keausan secara keseluruhan.
13. Melakukan pengambilan foto mikro permukaan dari material spesimen uji pin A, B, dan C yang telah diuji di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS untuk mengetahui mekanisme laju keausan dari material yang mengalami kontak dengan menggunakan mikroskop optik pembesaran visual 100 kali.
14. Mengolah data hasil pengujian serta membuat dan menganalisis grafik tersebut. Kemudian menganalisis mekanisme laju keausan (*wear rate*) dari hasil pengujian struktur permukaan. Grafik yang dibuat yaitu grafik *specific wear rate* sebagai efek dari variasi pola susunan serat.

### 3.7 Rancangan Eksperimen

Studi ekperimental tugas akhir ini membahas tentang kondisi pengujian keausan dari material resin akrilik. Material ini diuji nilai laju keausannya dengan membandingkan antara material yang tidak berpenguat serat dengan material berpenguat serat dengan fraksi volume serat sebesar 7%wt yang memiliki variasi susunan serat dimana material tersebut dikondisikan terendam cairan saliva buatan saat dilakukan uji keausan. Adapun perincian rancangan hasil data yang akan diambil dari studi ekperimental ini akan dituangkan dalam tabel pengujian seperti pada tabel di bawah ini:

**Tabel 3.1** Rancangan Data Hasil Uji Eksperimen Keausan Resin akrilik untuk Pengujian Keausan

Spesimen uji pin resin akrilik		Massa Awal (gr)	Massa rendam (gr)	Massa akhir (gr)	$\Delta m$ (gr)
Berpenguat serat 0%	A1				
	A2				
	A3				
Berpenguat serat 7% pola 6 mm teratur	B1				
	B2				
	B3				
Berpenguat serat 7% pola 6 mm acak	C1				
	C2				
	C3				

Perubahan massa pin ( $\Delta m$ ) merupakan nilai selisih dari massa pin setelah dilakukan perendaman dan massa akhir setelah dilakukan pengujian. Adanya selisih massa ini menunjukkan terjadinya keausan pada material yang ditandai dengan berkurangnya nilai massa. Setelah mengetahui besarnya  $\Delta m$ , maka langkah selanjutnya yang dapat dilakukan adalah menghitung perubahan volume dari material spesimen pin. Perubahan volume ini merupakan nilai perubahan massa dibagi dengan nilai massa jenis material resin akrilik. Adapun nilai  $\Delta V$

ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus yaitu sebagai berikut ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.3)$$

Keterangan:

$\Delta m$  = perubahan massa pin atau volume keausan (gram)

$\rho$  = massa jenis material komposit ( $\text{gram/cm}^3$ )

$\Delta V$  = perubahan volume pin ( $\text{cm}^3$ )

Kemudian, setelah nilai dari  $\Delta V$  diperoleh maka nilai dari laju keausan material (K) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L} \quad (3.4)$$

Keterangan:

K = nilai laju keausan spesifik ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ )

$\Delta V$  = perubahan volume pin ( $\text{cm}^3$ )

F = beban normal (N)

L = panjang *wear track* (m)

Hasil dari perhitungan tersebut dituangkan dalam data tabel 3.2 seperti di bawah ini:

**Tabel 3.2** Nilai Laju Keausan Material Pin Spesimen Resin akrilik

SPESIMEN UJI PIN		PENGUJIAN KEAUSAN	
		Perubahan volume pin ( $\Delta V$ )	<i>Specific Wear Rate</i> (K)
Berpenguat serat 0%	A1	$\Delta V_{A1}$	$K_{A1}$
	A2	$\Delta V_{A2}$	$K_{A2}$
	A3	$\Delta V_{A3}$	$K_{A3}$
Berpenguat serat 7% pola 6 mm teratur	B1	$\Delta V_{B1}$	$K_{B1}$
	B2	$\Delta V_{B2}$	$K_{B2}$
	B3	$\Delta V_{B3}$	$K_{B3}$
Berpenguat serat 7% pola 6 mm acak	C1	$\Delta V_{C1}$	$K_{C1}$
	C2	$\Delta V_{C2}$	$K_{C2}$
	C3	$\Delta V_{C3}$	$K_{C3}$

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

---

#### 4.1 Data Hasil Pengujian

Pada pengujian laju keausan pada material resin akrilik berpenguat serat ini dilakukan dengan memberikan cairan saliva buatan pada saat pengujian keausan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban sebesar 2 kg dan *speed control* 20 (kecepatan 0,07 m/s) dengan variasi susunan serat pada material uji resin. Spesimen uji terdiri dari spesimen untuk pin dari resin akrilik dengan variasi susunan serat berpola 0% serat, 7% serat teratur, dan 7% serat acak, serta spesimen untuk disk berupa resin akrilik berpenguat 7% serat acak. Pengujian dilakukan pada masing-masing spesimen pin yang memiliki variasi susunan serat yang berbeda dengan perlakuan pengujian keausan yang sama yaitu spesimen pin direndam dahulu dalam cairan saliva buatan selama 10 jam, kemudian dilakukan pengujian keausan dengan memberikan cairan saliva buatan antara pin dan disk. Berikut ini disajikan tabel hasil pengujian laju keausan resin akrilik berpenguat serat.

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian

pola pin	nama pin	sebelum direndam (gram)	sesudah direndam (gram)	sesudah diuji (gram)
0% serat	A1	3,0556	3,155	3,077
	A2	3,1653	3,2514	3,1391
	A3	2,9086	3,0067	2,858
7% teratur	B1	3,2496	3,2509	3,2436
	B2	3,1803	3,1846	3,1731
	B3	3,3225	3,3489	3,3207
7% acak	C1	3,0485	3,0697	3,0121
	C2	3,0514	3,1064	3,0483
	C3	3,4092	3,4566	3,3965

Pada Tabel 4.1 menunjukkan data massa dari masing-masing spesimen pin yang akan diuji keausan. Pada spesimen yang telah direndam menunjukkan data nilai massa setelah direndam lebih besar daripada data nilai massa sebelum direndam. Hal ini membuktikan bahwa resin akrilik memiliki sifat menyerap air. Bahan resin akrilik mempunyai sifat yaitu menyerap air secara perlahan-lahan dalam jangka waktu tertentu. Resin akrilik menyerap air relatif sedikit ketika ditempatkan pada lingkungan basah[14].

Pada spesimen yang telah diuji juga menunjukkan data nilai massa sesudah pengujian lebih kecil daripada data nilai massa sebelum pengujian yaitu nilai massa setelah direndam. Hal ini menunjukkan terdapat massa yang hilang akibat terkikis saat pengujian keausan. Selisih massa inilah yang akan digunakan untuk menganalisa nilai laju keausan spesifik dari material resin akrilik berpenguat serat.

## **4.2 Perhitungan**

### **4.2.1 Perhitungan Densitas Spesimen Uji**

Pada pengujian keausan resin akrilik menggunakan material resin akrilik berpenguat serat. Pada material resin akrilik tanpa penguat serat memiliki nilai massa jenis sebesar  $1,19 \text{ gr/cm}^3$ . Sedangkan untuk material resin akrilik berpenguat serat memiliki nilai massa jenis yang berbeda. Massa jenis yang digunakan adalah massa jenis komposit yaitu massa jenis dari gabungan antara material resin akrilik dan *fiberglass*. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mengetahui densitas (massa jenis) dari spesimen uji dengan variasi susunan serat. Pada penelitian ini digunakan variasi susunan 0% serat, 7% serat berpola teratur, dan 7% serat berpola acak.

#### **Contoh perhitungan untuk massa jenis komposit:**

##### **Diketahui data awal:**

Spesimen resin akrilik berpenguat 7% serat untuk pin B dan C

Massa jenis resin akrilik tanpa penguat,  $\rho_{\text{resin}} = 1,19 \text{ gr/cm}^3$

Massa jenis serat penguat,  $\rho_{\text{serat}} = 2,54 \text{ gr/cm}^3$

Massa resin akrilik 0% serat = 2,1 gram

Massa serat dengan fraksi 7% = 0,31 gram

### Menghitung massa jenis komposit, $\rho_c$ :

- ♦  $m_c = m_{\text{serat}} + m_{\text{resin}}$
- ♦  $(\rho_c \times V_c) = (\rho_{\text{serat}} \times V_{\text{serat}}) + (\rho_{\text{resin}} \times V_{\text{resin}})$
- ♦  $\rho_c = \frac{(\rho_{\text{serat}} \times V_{\text{serat}}) + (\rho_{\text{resin}} \times V_{\text{resin}})}{V_c}$   
$$V_{\text{serat}} = \frac{m_{\text{serat}}}{\rho_{\text{serat}}} = \frac{0,31}{2,54} = 0,12 \text{ cm}^3$$
$$V_{\text{resin}} = \frac{m_{\text{resin}}}{\rho_{\text{resin}}} = \frac{2,1}{1,19} = 1,76 \text{ cm}^3$$
- ♦  $\rho_c = \frac{(\rho_{\text{serat}} \times V_{\text{serat}}) + (\rho_{\text{resin}} \times V_{\text{resin}})}{V_{\text{serat}} + V_{\text{resin}}}$
- ♦  $\rho_c = \frac{(2,54 \times 0,12) + (1,19 \times 1,76)}{0,12 + 1,76}$
- ♦  $\rho_c = \frac{0,31 + 2,09}{1,88}$
- ♦  $\rho_c = 1,28 \text{ gr/cm}^3$

**Tabel 4.2** Data Densitas Spesimen Uji

pola pin	nama pin	massa serat (gram)	massa jenis serat (gr/cm <sup>3</sup> )	massa jenis resin (gr/cm <sup>3</sup> )	massa jenis komposit (gr/cm <sup>3</sup> )
0% serat	A1	0	2,54	1,19	1,19
	A2	0	2,54	1,19	1,19
	A3	0	2,54	1,19	1,19
7% teratur	B1	0,31	2,54	1,19	1,28
	B2	0,31	2,54	1,19	1,28
	B3	0,31	2,54	1,19	1,28
7% acak	C1	0,31	2,54	1,19	1,28
	C2	0,31	2,54	1,19	1,28
	C3	0,31	2,54	1,19	1,28

#### 4.2.2 Perhitungan *Specific Wear Rate*

Pada pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data-data berupa nilai massa sebelum direndam, massa setelah direndam, dan massa akhir setelah pengujian keausan dari spesimen uji. Data massa tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1. Setelah pengujian dilakukan perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *specific wear rate* dari material resin akrilik. Perhitungan ini untuk mengetahui nilai laju keausan spesifik dari masing-masing spesimen uji dengan pola susunan serat yang berbeda. Hasil perhitungan nilai *specific wear rate* diperoleh setelah nilai desitas masing-masing material diketahui seperti data yang tertera pada Tabel 4.2. Pada hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa massa awal yaitu massa setelah direndam dalam cairan saliva buatan dan massa akhir yaitu massa setelah pengujian keausan. Massa pin spesimen tersebut ditimbang pada timbangan digital dengan ketelitian 0,0001 gram.

#### **Contoh perhitungan untuk laju keausan spesifik material:**

##### **Diketahui data awal:**

Spesimen resin akrilik berpenguat 0% serat untuk Pin A1

Massa setelah perendaman,  $m_{\text{awal}} = 3,155 \text{ gr}$

Massa sesudah pengujian,  $m_{\text{akhir}} = 3,077 \text{ gr}$

$\rho_{\text{resin}} = 1,19 \text{ gr/cm}^3$

$F = 19,8 \text{ N}$

$L = 505,92 \text{ m}$

##### **Menghitung *specific wear rate*, $K'$ :**

$\Delta m = m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} = 3,155 - 3,077 = 0,078 \text{ gr}$

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} = \frac{0,078}{1,19} = 0,06554 \text{ cm}^3 = 65,54 \text{ mm}^3$$

$$K' = \frac{\Delta V}{F \times L} = \frac{65,54}{19,8 \times 505,92} = 0,0066 \text{ mm}^3/\text{Nm}$$

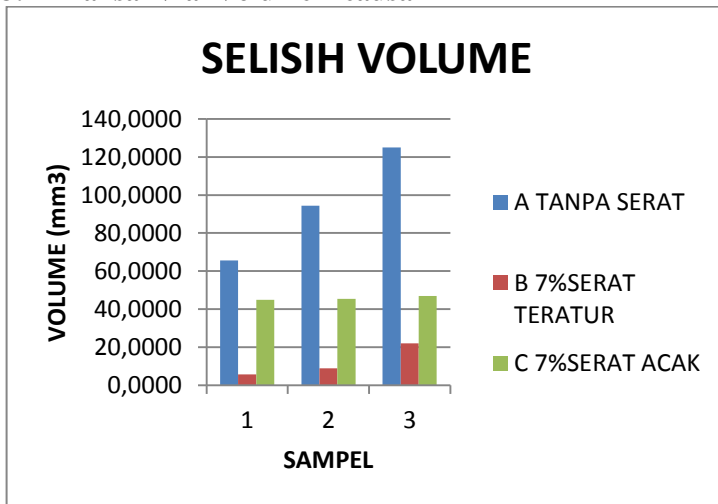


**Tabel 4.3** Perhitungan Nilai *Specifik Wear Rate* Spesimen Uji Pin

pola pin	nama pin	selisih massa (gram)	selisih volume (cm <sup>3</sup> )	selisih volume (mm <sup>3</sup> )	specific wear rate (mm <sup>3</sup> /Nm)
0% serat	A1	0,0780	0,0655	65,5462	<b>0,0066</b>
	A2	0,1123	0,0944	94,3697	<b>0,0095</b>
	A3	0,1487	0,1250	124,9580	<b>0,0126</b>
7% teratur	B1	0,0073	0,0057	5,7031	<b>0,0006</b>
	B2	0,0115	0,0090	8,9844	<b>0,0009</b>
	B3	0,0282	0,0220	22,0313	<b>0,0022</b>
7% acak	C1	0,0576	0,0450	45,0000	<b>0,0045</b>
	C2	0,0581	0,0454	45,3906	<b>0,0046</b>
	C3	0,0601	0,0470	46,9531	<b>0,0047</b>

## 4.3 Analisa Hasil Data Pengujian Keausan

### 4.3.1 Analisa Nilai Volume Keausan



**Grafik 4.1** Nilai volume keausan

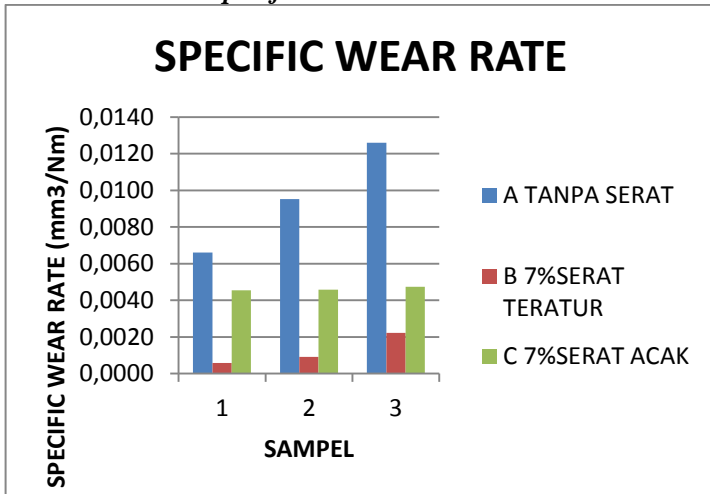
Pengujian keausan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada masing-masing material uji pin mengalami pengurangan massa. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Pengurangan massa ini menyebabkan volume benda uji juga berkurang. Pengurangan volume ini dinamakan dengan volume keausan. Perbandingan nilai volume keausan masing-masing spesimen dapat terlihat pada grafik 4.1, dimana dari data grafik tersebut menunjukkan nilai yang berbeda dari setiap spesimen. Perbedaan nilai ini memiliki kecenderungan yang sama pada setiap material yang memiliki susunan serat sejenis.

Volume keausan untuk material resin akrilik berpenguat 0% serat diberi kode nama pin A. Volume keausan untuk material resin akrilik berpenguat serat 7% diberi kode nama pin B untuk pola serat teratur dan kode nama pin C untuk pola serat acak. Nilai volume aus untuk pin A yang sebanyak tiga buah adalah  $65.55 \text{ mm}^3$  untuk pin A1, kemudian  $94.37 \text{ mm}^3$  untuk pin A2, dan  $124.96 \text{ mm}^3$  untuk pin A3. Sedangkan nilai volume aus untuk pin B yang sebanyak tiga buah juga adalah  $5.7 \text{ mm}^3$  untuk pin B1, kemudian  $8,98 \text{ mm}^3$  untuk pin B2, dan  $22.03 \text{ mm}^3$  untuk pin B3. Dan yang terakhir adalah nilai volume aus untuk pin C yang sebanyak tiga buah yaitu  $45 \text{ mm}^3$  untuk pin C1, kemudian  $45.39 \text{ mm}^3$  untuk pin C2, dan  $46.95 \text{ mm}^3$  untuk pin C3.

Pada analisis nilai volume keausan yang terjadi pada setiap material spesimen uji memiliki kecenderungan yang sama dari setiap jenisnya. Dari data nilai volume aus yang tertuang dalam grafik 4.1 di atas, terlihat bahwa data nilai volume aus untuk pin B yaitu pin dari resin akrilik berpenguat 7% serat teratur memiliki nilai volume aus terkecil. Sedangkan nilai volume aus terbesar terdapat pada pin A yaitu pin dari resin akrilik berpenguat 0% serat. Pada spesimen tanpa penambahan serat ini memiliki volume aus yang paling besar karena tidak ada serat yang menahan beban yang mengakibatkan keausan. Akibatnya hanya resin akrilik saja yang terkikis. Hal ini menunjukkan bahwa peran serat sangat berpengaruh untuk mengurangi volume aus yang terjadi. Adanya serat memberikan dampak positif dalam menekan laju keausan yang terjadi.

#### 4.3.2 Analisa Nilai *Specific Wear Rate*



**Grafik 4.2** Nilai *specific wear rate* pada spesimen uji pin

Pada pengujian keausan yang telah dilakukan dan data nilai perhitungan *specific wear rate*, didapatkan bahwa nilai *specific wear rate* pada material resin akrilik dengan variasi susunan serat yang telah direndam dan dilumasi cairan saliva buatan ditunjukkan pada tabel 4.3. Dari tabel perhitungan dapat dibuat grafik dan dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus setiap satuan gaya dan jarak. Nilai *specific wear rate* berbanding lurus dengan volume keausannya.

Nilai *specific wear rate* untuk material resin akrilik berpenguat 0% serat diberi kode nama pin A. Nilai *specific wear rate* untuk material resin akrilik berpenguat serat 7% diberi kode nama pin B untuk pola serat teratur dan kode nama pin C untuk pola serat acak. Nilai *specific wear rate* untuk pin A yang sebanyak tiga buah adalah 0.0066 mm³/Nm untuk pin A1, 0.0095 mm³/Nm untuk pin A2, dan 0.0126 mm³/Nm untuk pin A3. Nilai *specific wear rate* untuk pin B yang sebanyak tiga buah adalah 0.0006 mm³/Nm untuk pin B1, 0.0009 mm³/Nm untuk pin B2,

dan  $0.0022 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  untuk pin B3. Nilai *specific wear rate* untuk pin C yang sebanyak tiga buah adalah  $0.0045 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  untuk pin C1,  $0.0046 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pin C2, dan  $0.0047 \text{ mm}^3/\text{Nm}$  untuk pin C3.

Dari data nilai *specific wear rate* yang telah disebutkan di atas, terlihat bahwa data nilai *specific wear rate* untuk pin B yaitu pin dari resin akrilik berpenguat 7% serat teratur adalah material uji yang memiliki nilai *specific wear rate* terkecil daripada yang lainnya. Hal ini dikarenakan susunan serat pada resin akrilik memiliki pola serat yang sejajar sehingga pada saat pin berpenguat serat teratur digesek dengan disk berpenguat serat acak maka serat pin yang saling bergesekan dengan material disk arah kikisannya memiliki kecenderungan yang konstan. Pada saat digesek, material serat yang ada di permukaan pin lebih dulu terkikis. Serat sebagai penguat resin memiliki sifat lebih keras dan kuat daripada resin akrilik. Oleh karena itu, volume aus akibat resin yang terkikis menjadi lebih sedikit. Akibatnya laju keausannya lebih rendah.

Nilai *specific wear rate* pada pin C berada di antara pin A dan B. Hal ini dikarenakan pin C ini dari material resin akrilik berpenguat 7% serat acak. Pada pin C ini terdapat serat yang membantu memperkuat resin akrilik sehingga tingkat keausannya lebih rendah dari pin A yang tanpa adanya penguat serat. Namun, pin C ini memiliki tingkat keausan lebih besar daripada pin B yang memiliki pola 7% serat teratur. Pola serat yang acak inilah yang membuat material pin C ini keausannya sedikit lebih besar dari pin B. Ketika permukaan pin dengan serat acak digesek dengan permukaan disk berpenguat serat acak juga, letak susunan serat yang saling tidak beraturan satu sama lain ini memiliki kecenderungan saling mengikis dengan arah kikisan yang tidak konstan. Serat yang berada di permukaan menjadi terkikis lebih dahulu daripada resin akriliknya, akibatnya volume aus yang terjadi sedikit lebih banyak daripada resin akrilik berpenguat serat teratur. Nilai *specific wear rate* pin C pun sedikit lebih besar daripada pin B yang berpola teratur.

Nilai *specific wear rate* terbesar terdapat pada pin A yaitu pin dari resin akrilik berpenguat 0% serat. Hal ini dikarenakan pada material resin akrilik pin A tidak ada serat, maka ketika permukaannya digesek hanya material resin akrilik saja yang terkikis. Hal ini menyebabkan volume aus banyak terjadi dari resin akrilik. Serat yang berfungsi sebagai penguat tidak ada sehingga tidak ada yang melindungi resin akrilik saat digesek. Resin akrilik tanpa penguat serat ini memiliki kecenderungan porositas lebih besar dari yang berserat. Adanya gelembung yang tidak beraturan atau porositas di permukaan dan di bawah permukaan dapat mempengaruhi sifat fisisnya. Porositas cenderung terjadi pada bagian bentuk resin akrilik yang lebih tebal. Porositas juga dapat terjadi karena pengadukan yang tidak tepat antara komponen polimer dan monomer[13].

Pada spesimen tanpa penambahan serat ini memiliki *specific wear rate* yang paling besar daripada spesimen yang lain. Hal ini juga terbukti dari penelitian yang dilakukan Dwi Tarina Widianingrum (2012). Pengaruh penambahan serat pada laju keausan menunjukkan bahwa laju keausan cenderung menurun seiring bertambahnya fraksi berat serat. Hal ini disebabkan adanya peran serat yang cukup optimal dalam menahan beban yang diterima komposit, sehingga laju keausan dapat ditekan. Bentuk dari susunan serat resin akrilik juga mempengaruhi nilai *specific wear rate*. Resin akrilik berpenguat 7% serat teratur terbukti dapat mengurangi nilai *specific wear rate* yang terjadi.

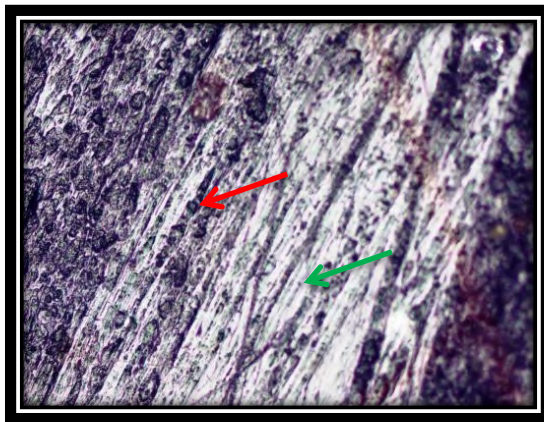
#### **4.4 Analisa Mekanisme Hasil Pengujian Keausan**

Volume keausan yang terjadi akibat gesekan antar permukaan akan menghasilkan *wear debris*. *Wear debris* yang dihasilkan pada spesimen resin akrilik berpenguat 0% serat semakin banyak akibat tidak adanya serat sebagai penguat resin akrilik. *Wear debris* yang semakin banyak ini mempengaruhi kekasaran permukaan disk, dimana *wear debris* ini berfungsi sebagai bahan *abrasive*. *Wear debris* tersebut berada diantara permukaan gesekan pin dan disk sehingga membentuk

mekanisme keausan *tree body abrasive wear*.

Pada material disk terbuat dari resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak. Keausan yang terjadi akibat gesekan antara disk dan pin terlebih dahulu mengikis permukaan spesimen pin. Kondisi antara pin dan disk yang terendam oleh cairan saliva buatan juga mempengaruhi nilai keausan material. Hal ini dikarenakan material debris yang larut dalam cairan saliva membuat laju keausan bertambah. Hal ini dikarenakan sifat resin akrilik yang menyerap air menjadikan permukaan material lebih lunak dan juga butiran debris yang tercampur dalam saliva semakin menambah keberadaan partikel abrasif.

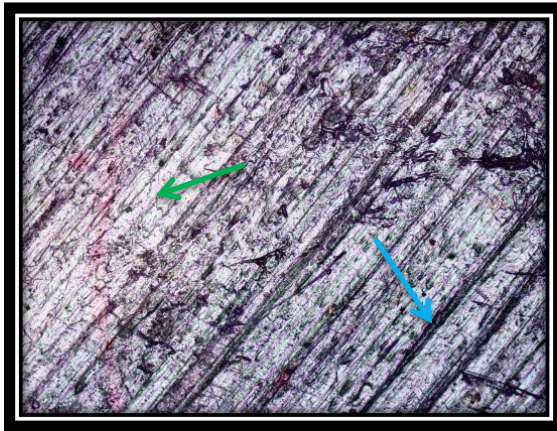
Perubahan kekasaran permukaan akibat goresan yang terjadi pada permukaan disk, pengaruh dari partikel *abrasive* juga terlihat dari bentuk keausan yang terjadi pada spesimen pin. Pada permukaan pin terlihat jejak keausan berupa goresan-goresan searah (ditandai dengan tanda panah berwarna hijau) yang menunjukkan ciri keausan akibat partikel *abrasive*. Jenis keausan lain yang terjadi adalah keausan *fatigue*, dimana spesimen mengalami beban yang berulang akibat osilasi sehingga timbul retak mikro dan mengelupasnya material (ditunjukkan anak panah berwarna merah). Sedangkan letak serat ditunjukkan oleh panah berwarna biru.



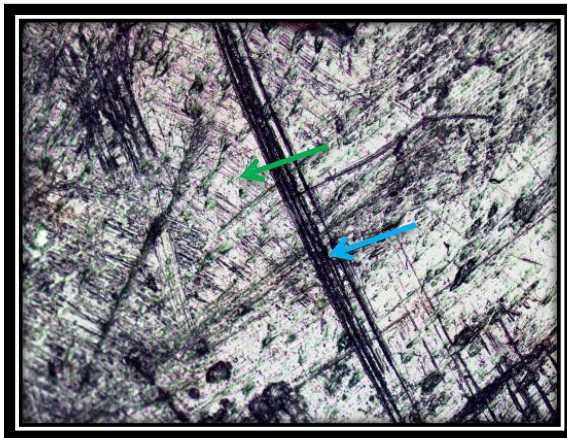
**Gambar 4.1** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 0% serat

Pada gambar 4.1 yaitu gambar foto mikro pada spesimen resin akrilik tanpa penguat serat, dapat dilihat bahwa mekanisme keausan yang terjadi adalah abrasif dan *fatigue*. Gambar yang ditunjukkan panah berwarna hijau pada foto mikro tersebut menunjukkan adanya goresan-goresan yang mengindikasikan keausan abrasif. Goresan yang terjadi ini karena adanya partikel *wear debris* yang berfungsi sebagai bahan abrasif dimana *wear debris* meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Keausan yang disebabkan oleh serpihan hasil gesekan yang terbentuk (debris) mengeras serta ikut berperan dalam hilangnya material karena proses gesekan yang terjadi secara berulang-ulang. Jadi pengertian “*tree body abrasive wear*” disini adalah dua material yang saling bergesekan dan sebuah benda serpihan hasil gesekan. Sedangkan pada keausan “dua benda”, debris atau serpihan hasil gesekan tidak ada. Debris berasal dari suatu material yang teradhesi pada permukaan material yang lain, kemudian karena proses pembentukan yang terjadi, serpihan ini akan menggaruk permukaan material yang lebih lunak, sehingga terjadilah keausan secara abrasif.

Keausan *fatigue* juga ditunjukkan oleh panah berwarna merah pada gambar 4.1 tersebut. Keausan ini terjadi karena material yang diuji keausan mengalami gesekan akibat adanya beban yang diberikan. Beban yang diberikan ini berosilasi terus-menerus sehingga permukaan mengalami pengelupasan sehingga beban *fatigue* tersebut mengakibatkan keausan pada permukaan material. Keausan lelah atau *surface fatigue wear* pada permukaan, pada hakikatnya bisa terjadi baik secara abrasif atau adhesif. Tetapi keausan jenis ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan gesek.



**Gambar 4.2** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur



**Gambar 4.3** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak

Pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa mekanisme keausan yang dominan terjadi adalah keausan abrasif. Gambar yang ditunjukkan panah berwarna hijau pada foto mikro tersebut menunjukkan adanya goresan-goresan akibat



gesekan antar permukaan spesimen dan juga adanya partikel *wear debris* sebagai bahan abrasif yang saling bergesekan dengan permukaan spesimen. Goresan ini menunjukkan bahwa mekanisme keausan terjadi adalah keausan abrasif. Sedangkan panah berwarna biru adalah jejak letak serat.

Pada gambar 4.2 merupakan gambar foto mikro dari resin akrilik berpenguat serat berpola teratur dan pada gambar 4.3 merupakan gambar foto mikro dari resin akrilik berpenguat serat berpola acak. Dari kedua spesimen uji ini memiliki kecenderungan yang sama dalam hal mekanisme keausan yang terjadi dimana tampak hanya terjadi keausan abrasif saja. Oleh karena itu, nilai *spesifik wear rate* material dari resin akrilik berpenguat 7% serat ini lebih rendah dari pada material resin akrilik dengan 0% serat.

Pada gambar 4.2 dan 4.3 di atas tampak panah biru yang menandakan bekas jejak letak dari serat. Jejak ini terbentuk karena adanya proses delaminasi. Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan yang terjadi pada material komposit. Delaminasi bisa terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada lokasi retak di sekitar serat berada. Kemungkinan awal munculnya retak pada permukaan material ini bisa terjadi karena adanya keausan *fatigue*. Keausan *fatigue* ini terjadi karena adanya gesekan akibat beban berulang yang mengarahkan pada pembentukan retak-retak mikro pada permukaan matriks. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material serat dari matriksnya. Jika lapisan serat diberi beban *fatigue*, delaminasi dapat terjadi dan menyebabkan serat terlepas dari matriksnya yaitu resin akrilik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

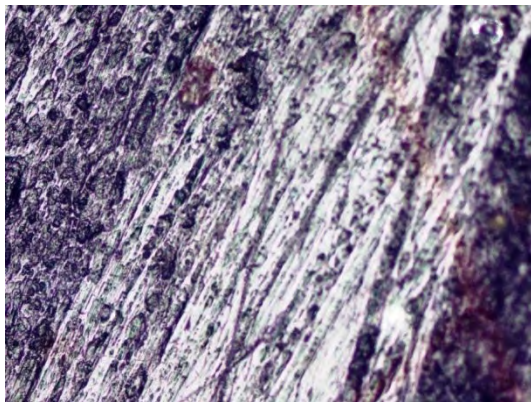
**Lampiran 1. Tabel Data Perhitungan**

pola pin	nama pin	massa serat (gr)	massa jenis serat (gr/cm <sup>3</sup> )	massa jenis resin (gr/cm <sup>3</sup> )	massa jenis komposit (gr/cm <sup>3</sup> )	sebelum tondam (gram)	sesudah tondam (gram)	sesudah diuji (gr)	selisih massa (gram)	selisih volume (cm <sup>3</sup> )	selisih volume (mm <sup>3</sup> )	specific wear rate (mm <sup>3</sup> /Nm)
0% serat	A1	0,0000	2,5400	1,1900	1,1900	3,0556	3,1550	3,0770	0,0780	0,0655	65,5462	0,0066
	A2	0,0000	2,5400	1,1900	1,1900	3,1653	3,2514	3,1391	0,1123	0,0944	94,3697	0,0095
	A3	0,0000	2,5400	1,1900	1,1900	2,9086	3,0067	2,8580	0,1487	0,1250	124,9580	0,0126
7% teratur	B1	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,2496	3,2509	3,2436	0,0073	0,0057	5,7031	0,0006
	B2	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,1803	3,1846	3,1731	0,0115	0,0090	8,9844	0,0009
	B3	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,3225	3,3489	3,3207	0,0282	0,0220	22,0313	0,0022
7% acak	C1	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,0483	3,0697	3,0121	0,0576	0,0450	45,0000	0,0045
	C2	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,0514	3,1064	3,0483	0,0381	0,0454	45,3906	0,0046
	C3	0,3100	2,5400	1,1900	1,2800	3,4092	3,4566	3,3965	0,0601	0,0470	46,9531	0,0047

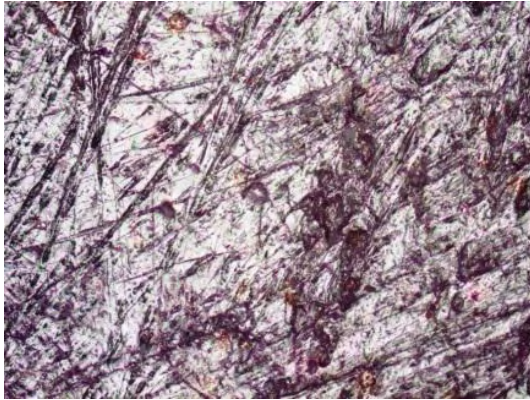
## **Lampiran 2. Foto Mikro Perbesaran 100 kali**



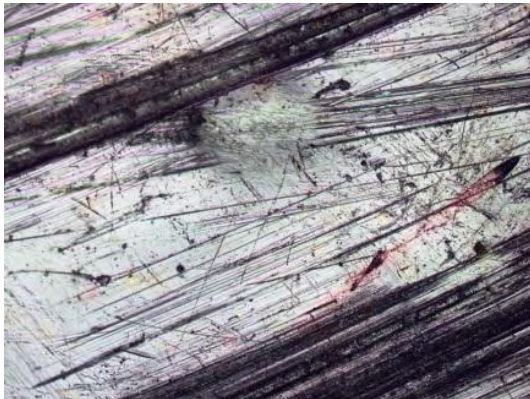
**Gambar 1** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 0% serat ke-1



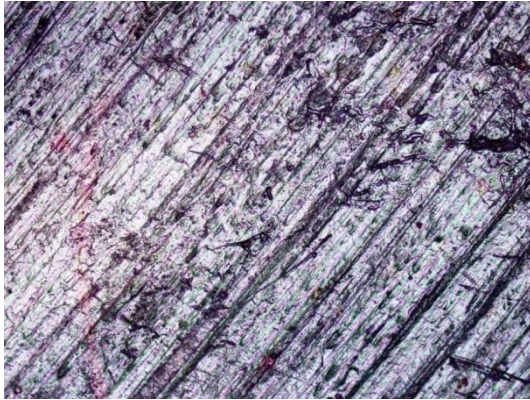
**Gambar 2** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 0% serat ke-2



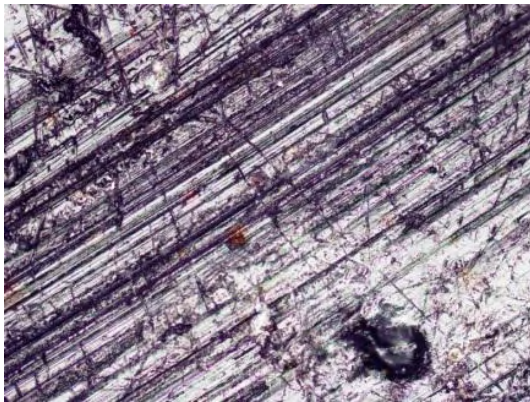
**Gambar 3** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 0% serat ke-3



**Gambar 4** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur ke-1

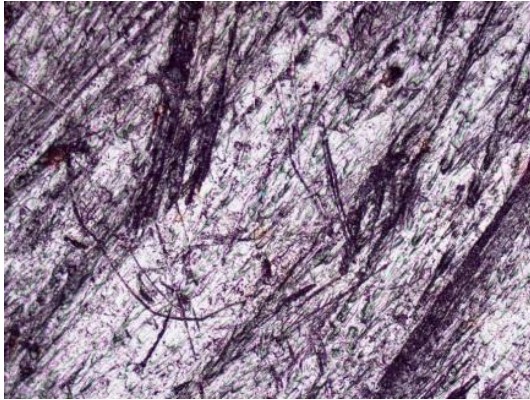


**Gambar 5** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur ke-2

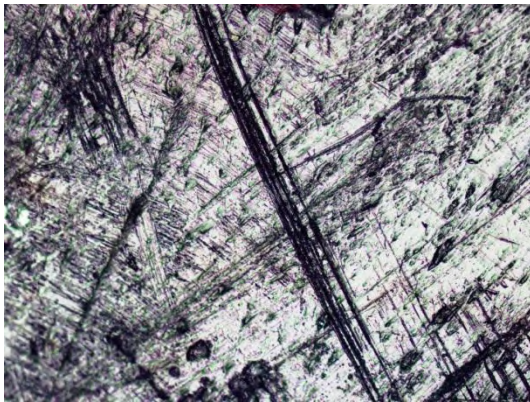


**Gambar 6** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur ke-3

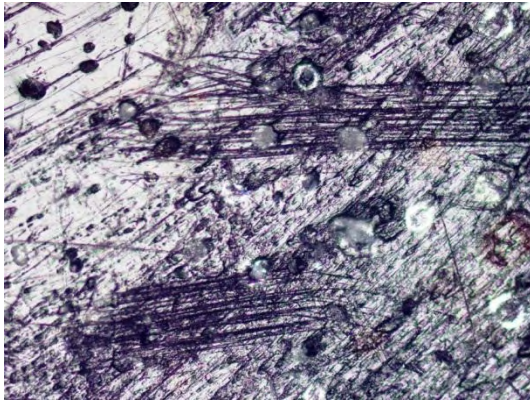




**Gambar 7** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak ke-1



**Gambar 8** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak ke-2



**Gambar 9** Foto mikro pin resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak ke-3



## BAB V

### PENUTUP

---

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan tentang studi eksperimental laju keausan spesifik material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat berupa resin akrilik dengan 0% serat, 7% serat teratur, dan 7% serat acak menghasilkan kesimpulan, yaitu:

1. Nilai *specific wear rate* pada spesimen uji dari resin akrilik berpenguat 0% serat yaitu  $0.0066 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ,  $0.0095 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , dan  $0.0126 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Nilai *specific wear rate* pada spesimen uji dari resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur yaitu  $0,0006 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ,  $0.0009 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , dan  $0.0022 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Nilai *specific wear rate* pada spesimen uji dari resin akrilik berpenguat 7% serat berpola acak yaitu pin  $0.0045 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ,  $0.0046 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , dan  $0.0047 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

2. Nilai *specific wear rate* terbesar terdapat pada pin A yaitu spesimen uji dari resin akrilik berpenguat 0% serat dikarenakan tidak adanya serat yang bersifat lebih kuat dan keras dari pada resin akrilik sehingga tidak ada yang membantu menahan beban yang diberikan.

Nilai *specific wear rate* terkecil terdapat pada pin B yaitu spesimen uji dari resin akrilik berpenguat 7% serat berpola teratur dikarenakan adanya serat yang bersifat lebih keras dan kuat yang membantu menahan beban yang menyebabkan keausan. Pola susunan serat teratur berpengaruh dalam mengurangi laju keausan dari pada pola serat acak dikarenakan pola seratnya konstan sejajar sehingga waktu digesek seratnya lebih konstan menahan beban dari pada pola serat acak yang saling mengikis ke arah yang tidak beraturan sehingga volume keausannya lebih banyak daripada yang pola teratur.

3. Mekanisme keausan yang terjadi dilihat dari hasil foto mikro pada spesimen uji yang paling dominan adalah keausan abrasif dan *fatigue*.

Adanya jejak goresan-goresan pada hasil foto mikro menunjukkan terjadinya keausan abrasif yang disebabkan karena adanya partikel *wear debris* yang berfungsi sebagai bahan abrasif.

Adanya jejak pengelupasan pada foto mikro menunjukkan terjadinya keausan *fatigue* karena adanya gesekan akibat pembebanan yang beresilasi terus-menerus yang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro yang kemudian menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Pada foto mikro juga tampak jejak bekas serat yang terkelupas akibat adanya proses delaminasi. Hal ini disebabkan karena adanya beban yang berulang sehingga menyebabkan retak mikro di area sekitar serat berada sehingga delaminasi dapat terjadi dan menyebabkan serat terlepas dari matriksnya.

## 5.2 Saran

Penelitian ini memiliki beberapa kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu, penulis memiliki beberapa saran, yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan resin akrilik tipe *heat cured* dimana pada proses pencetakan adonan, penataan susunan serat tipe teratur sulit dikontrol ketika proses penekanan. Oleh sebab itu, hendaknya dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan resin akrilik tipe *self cured* supaya hasil penataan serat lebih terkontrol dengan baik dan bisa dibandingkan hasilnya kemudian.
2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental, hendaknya dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan metode simulasi program komputer supaya dapat membandingkan hasil antara keduanya.

3. Penelitian ini menggunakan resin akrilik sebagai bahan gigi tiruan pada kedokteran gigi, hendaknya dapat dilakukan penelitian selanjutnya dengan bahan gigi tiruan yang lain sebagai pembandingnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]Nirwana, Intan, *Kekuatan transversa resin akrilik hybrid setelah penambahan glass fiber dengan metode berbeda*, Maj. Ked. Gigi. (Dent. J.), Vol. 38. No. 1 Januari 2005: 16-19
- [2]Widianingrum, Dwi Tarina. 2010. *Studi Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate) Resin Akrilik dengan Penambahan Serat Penguat pada Dental Prosthesis*. ITS Surabaya.
- [3]Aykul, Halil, Mustafa Toparli, *A comparison of the stress analysis of an unrestored and restored tooth with amalgam and composite resin*, Mathematical and Computational Application, Vol. 10, No. 1, pp. 89-98, 2005.
- [4]Suharsono, Blisa Novertasari. *Resin Akrilik*. 17 Januari 2016. <https://blisha.wordpress.com/2013/05/30/109/>
- [5]Triyana, Devyta. *Makalah Diskusi (Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Dental Material)*. 17 Januari 2016. <https://id.scribd.com/doc/154235287/SIFAT-SIFAT-MATERIAL-KEDOKTERAN-GIGI>
- [6]Schutt, A., G. Burki, P. Schwaller, J. Michler. M. Cattani-Lorente, P. Vallitu, S. Bouillaguet, *Mechanical Properties of Fibre-Reinforced Dental Composite Subjected to Hydrothermal and Mechanical Ageing*, European Cells and Materials Vol. 7. Suppl. 2, 2004 (pages 55-56).
- [7]Callaghan, David J., Ashkan Vaziri, Hamid Nayeb-Hashemi, *Effect of Fiber Volume Fraction and Length on the Wear Characteristics of Glass Fiber-Reinforced Dental Composites*, Journal at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Dental Material 22 (2006) 84-93, Elsevier, 2006.
- [8]Sitorus, Zuriah, Eddy Dahar, *Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanik Resin Akrilik Polimerisasi Panas dengan Penambahan Serat Kaca*, Dentika Dental Journal, Vol.

17. No. 1, 2012: 24-29

- [9]Aramintha, Annisa Tari. 2014. *Kadar Kalsium dalam Saliva Buatan setelah aplikasi CPP-ACP(Casein Phosphopeptides-Amorphous Calcium Phosphate)*. Universitas Jember.
- [10]Mukti, Novan Ari Kurnia. 2014. *Pengaruh Mengunyah Buah Stroberi (Fragaria Chiloensis L.) terhadap Hambatan Pembentukan Plak Gigi pada Remaja Usia 12- 18 Tahun di Panti Asuhan Yayasan Nur Hidayah Kota Surakarta*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [11]Gani, E. *Pengaruh Perbedaan Waktu Perendaman Gigi dalam Minuman Berkarbonasi terhadap Kekutan Tekan (Compressive Strength) Gigi (In Vitro)*. 15 Mei 2016.  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/42262/4/Chapter%20II.pdf>
- [12]Zhou, Z.-R *et al.* 2013. *Dental Biotribology*. New York: Springer.
- [13]Sari, M.P. *Kekasaran Permukaan Resin Akrilik Polimerisasi Panas Setelah Perendaman Dalam Larutan Cuka Apel Selama 45, 90, 135 Menit*. 20 Juni 2016.  
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/18119/4/Chapter%20II.pdf>
- [14]Nurdiansyah, Yanto Ahmad dan Jamari, Dr., ST, MT. 2011. *Perhitungan Keausan Berbasis FEM pada Sistem Rolling-Sliding Contact*. Universitas Diponegoro.
- [15]Astika, I Made, *Analisa Delaminasi pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat dengan Pembebanan Fatigue*, ISSN: 2088-088X, Vol. 2. No. 1, Januari 2012.

## BIOGRAFI PENULIS



Prastika Kristasari dilahirkan di Surabaya pada tanggal 17 Desember 1992. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis besar dan tinggal di Surabaya. Pendidikan pertama penulis dimulai di TK Surya Teladan Surabaya pada tahun 1997 sampai dengan tahun 1999. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Penjaringan Sari II No. 608 Surabaya pada tahun 1999 dan lulus pada tahun 2005. Kemudian, penulis melanjutkan kembali pendidikan ke SMP Negeri 12 Surabaya pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2008. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan selanjutnya di SMA Negeri 17 Surabaya pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun 2011, penulis diterima di Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya melalui penerimaan mahasiswa baru jalur SNMPTN Ujian Tulis. Penulis mengambil Bidang Studi Mekanika Benda Padat di Laboratorium Desain Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Keinginan untuk selalu belajar dan mengamalkan ilmu yang diperoleh selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil Tugas Akhir pada periode perkuliahan semester genap 2015/2016 dengan judul **“Studi Eksperimental Laju Keausan Material Gigi Tiruan dari Resin Akrilik Berpenguat *Fiber Glass* dengan Variasi Susunan Serat Penguat”**. Pada tahun 2016, penulis dinyatakan lulus dari Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Penulis memiliki motto hidup “Selalu Bersyukur dan Pantang Menyerah Meraih Mimpi Setinggi-tingginya”. Penulis berharap agar ilmu yang telah didapatkan selama ini dapat berguna bagi orang lain serta nusa dan bangsa. Selanjutnya, penulis dapat dihubungi melalui:  
Email : [prastikakristasari17@gmail.com](mailto:prastikakristasari17@gmail.com)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)